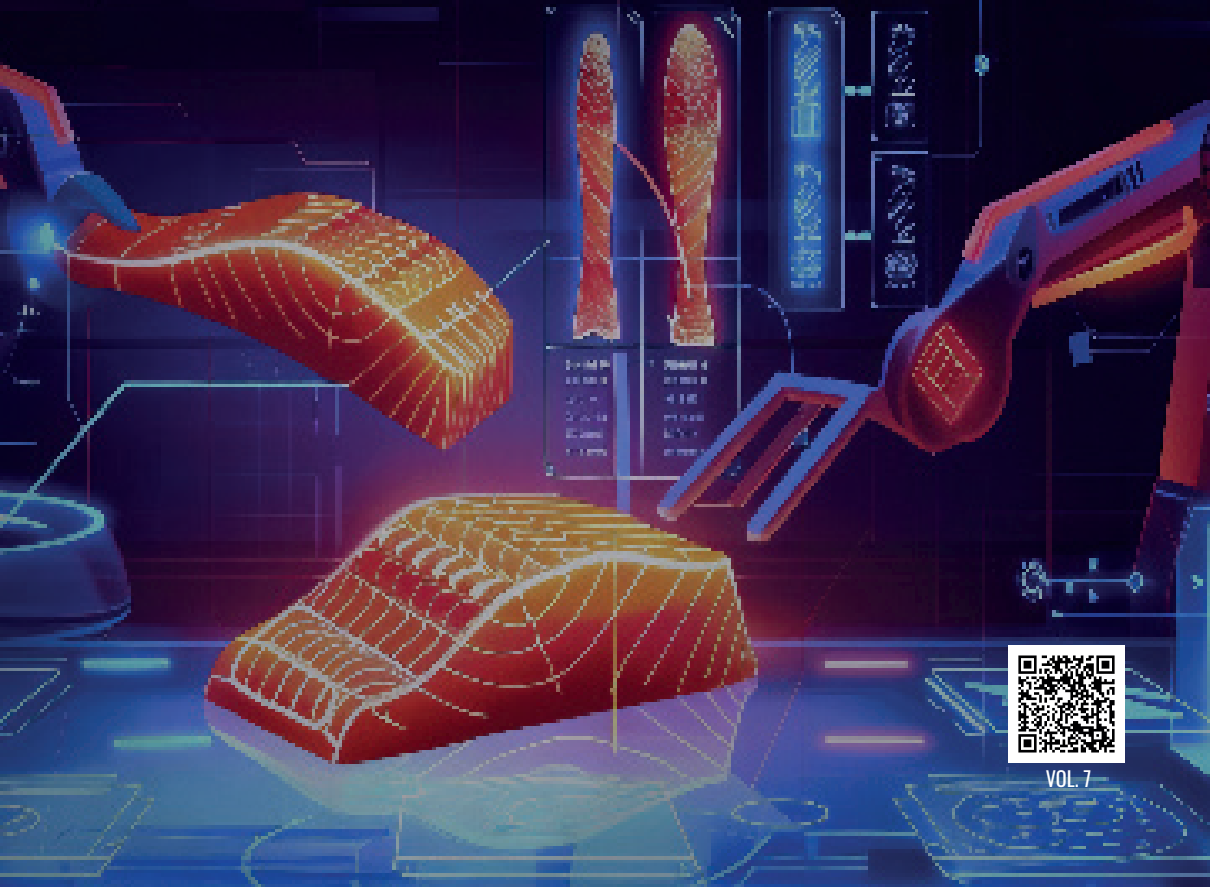


Carlos Alberto Martins Cordeiro
Norma Suely Evangelista-Barreto
Alex Guimarães Sanches
(Orgs.)



VOL. 7

AVANÇOS, INOVAÇÕES E SABERES EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS



científica digital



CIENTÍFICA DIGITAL EDITORIAL LTDA

Barueri - São Paulo - Brasil
www.cientificadigital.org - contato@cientificadigital.org

Diagramação e Arte	Edição © 2026 Científica Digital
Diego Santos	Texto © 2026 Os Autores
Diogo Lima	1ª Edição - 2026
Imagens da Capa	Acesso Livre - Open Access
Adobe Stock - 2026	

© COPYRIGHT - TODOS OS DIREITOS RESERVADOS. A editora detém os direitos autorais sobre a edição e o projeto gráfico, enquanto os autores mantêm os direitos autorais de seus respectivos textos. Esta obra está licenciada sob a Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional, permitindo o download e compartilhamento integral ou parcial, desde que a fonte seja devidamente citada e os créditos atribuídos aos autores. É obrigatório que a obra permaneça em formato de Acesso Livre (Open Access), sem qualquer alteração. A catalogação em plataformas de acesso restrito ou com fins comerciais é estritamente proibida.



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A946

Avanços, inovações e saberes em ciência e tecnologia de alimentos: volume 7 / Organização de Carlos Alberto Martins Cordeiro, Norma Suely Evangelista-Barreto, Alex Guimarães Sanches. – Barueri-SP: Científica Digital, 2026.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui Bibliografia
ISBN 978-65-6155-264-6
DOI 10.37885/978-65-6155-264-6

1. Tecnologia de alimentos. I. Cordeiro, Carlos Alberto Martins (Organizador). II. Evangelista-Barreto, Norma Suely (Organizadora). III. Sanches, Alex Guimarães (Organizador). III. Título.

CDD 613.286

Elaborado por Janaína Ramos – CRB-8/9166

Índice para catálogo sistemático:

I. Tecnologia de alimentos

E-BOOK

ACESSO LIVRE ON LINE - IMPRESSÃO PROIBIDA

2026

Carlos Alberto Martins Cordeiro
Norma Suely Evangelista Barreto
Alex Guimarães Sanches
(Orgs.)

Avanços, Inovações e Saberes em Ciência e Tecnologia de Alimentos

Volume 7

1ª EDIÇÃO



científica digital

2026 - BARUERI - SP

CONSELHO EDITORIAL

Prof. Dr. André Cutrim Carvalho
Prof. Dr. Antônio Marcos Mota Miranda
Prof^a. Ma. Auristela Correa Castro
Prof. Dr. Carlos Alberto Martins Cordeiro
Prof. Dr. Carlos Alexandre Oelke
Prof^a. Dra. Caroline Nóbrega de Almeida
Prof^a. Dra. Clara Mockdece Neves
Prof^a. Dra. Claudia Maria Rinhel-Silva
Prof^a. Dra. Clecia Simone Gonçalves Rosa Pacheco
Prof. Dr. Cristiano Marins
Prof^a. Dra. Cristina Berger Fadel
Prof. Dr. Daniel Luciano Gevehr
Prof. Dr. Diogo da Silva Cardoso
Prof. Dr. Ernane Rosa Martins
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes
Prof. Dr. Fabricio Gomes Gonçalves
Prof^a. Dra. Fernanda Rezende
Prof. Dr. Flávio Aparecido de Almeida
Prof^a. Dra. Francine Náthalie Ferraresi Queluz
Prof^a. Dra. Geuciane Felipe Guerim Fernandes
Prof. Dr. Humberto Costa

Prof. Dr. Joachin Melo Azevedo Neto
Prof. Dr. Jónata Ferreira de Moura
Prof. Dr. José Aderval Aragão
Prof. Me. Julianno Pizzano Ayoub
Prof. Dr. Leonardo Augusto Couto Finelli
Prof. Dr. Luiz Gonzaga Lapa Junior
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva
Prof^a. Dra. Maria Cristina Zago
Prof^a. Dra. Maria Otília Zangão
Prof. Dr. Mário Henrique Gomes
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes
Prof. Dr. Nelson J. Almeida
Prof. Dr. Pedro Afonso Cortez
Prof. Dr. Reinaldo Pacheco dos Santos
Prof. Dr. Rogério de Melo Grillo
Prof^a. Dra. Rosenery Pimentel Nascimento
Prof. Dr. Rossano Sartori Dal Molin
Prof. Me. Silvio Almeida Junior
Prof^a. Dra. Thays Zigante Furlan Ribeiro
Prof. Dr. Wescley Viana Evangelista
Prof. Dr. Willian Carboni Viana
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme

Acesse a lista completa dos Membros do Conselho Editorial em www.editoracientifica.com.br/conselho

Parecer e revisão por pares

Os textos que compõem esta obra passaram por avaliação do Conselho Editorial e revisão por pares externos (*Peer Review*), recebendo a devida recomendação para publicação.

Nota: Esta obra é fruto de um processo colaborativo, configurando-se como uma coletânea na qual os direitos autorais permanecem resguardados para os respectivos autores. Alguns capítulos podem ter origem em trabalhos anteriormente apresentados em eventos acadêmicos; no entanto, os autores foram orientados a adotar o devido rigor na prevenção do autoplágio. A responsabilidade pelo conteúdo de cada capítulo, assim como pela originalidade e integridade das informações publicadas, é inteiramente dos respectivos autores e autoras. O conteúdo da obra não reflete, necessariamente, a opinião da editora, dos organizadores ou dos membros do conselho editorial.

APRESENTAÇÃO

Esta obra resulta de um esforço colaborativo que reuniu professores, estudantes e pesquisadores, cujo engajamento qualificou as reflexões desenvolvidas neste espaço formativo. Fruto de iniciativas interinstitucionais de incentivo à pesquisa, o livro congrega especialistas de diversas áreas do conhecimento, vinculados a instituições de educação superior públicas e privadas, no Brasil e no exterior.

O objetivo central é fortalecer a integração entre instituições por meio de redes de pesquisa voltadas à formação continuada de profissionais da educação, promovendo a produção e a ampla disseminação do conhecimento.

Agradecemos aos autores pela dedicação e compromisso na construção desta obra, que se propõe a ser um recurso didático-pedagógico relevante para estudantes, docentes de diferentes níveis de ensino e demais interessados na temática.

Carlos Alberto Martins Cordeiro
Norma Suely Evangelista Barreto
Alex Guimarães Sanches

SUMÁRIO

Capítulo 01

O POTENCIAL DOS COMPOSTOS FUNCIONAIS BIOATIVOS DO CAPIM SANTO (*CYMBOPOGON CITRATUS*)

Thielly Ribeiro Martins; Luis Henriques Martins; Jade Vitória Duarte de Carvalho; Railanni dos Santos Cantão; Marcela de Souza Figueira; Orquídea Vasconcelos dos Santos

 10.37885/260321486 8

Capítulo 02

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE REAPROVEITAMENTO DO LÚPULO RESIDUAL DO DRY HOPPING NO PROCESSO CERVEJEIRO

Micheli Legemann Monte; Érica de Oliveira Dias

 10.37885/260522005 24

Capítulo 03

VALORIZAÇÃO DE COPRODUTOS DO PESCADO EM PRODUTOS DE PANIFICAÇÃO FUNCIONAL: APLICAÇÃO TECNOLÓGICA DO CONCENTRADO PROTEICO DE PEIXE

Norma Suely Evangelista-Barreto; Eliziane da Silva Almeida

 10.37885/260622044 43

Capítulo 04

COMIDA IMPRESSA EM 3D: A MANUFATURA ADITIVA COMO FRONTEIRA ESTRATÉGICA DA ALIMENTAÇÃO DO FUTURO

Pedro Augusto Bocchese; Camila Baldasso

 10.37885/260622047 64

Capítulo 05

LEITE A2A2 E SEUS DERIVADOS: SABERES, AVANÇOS E INOVAÇÕES NA CADEIA LÁCTEA BRASILEIRA

Beatriz Santana da Silva

 10.37885/260722394 83

Capítulo 06**ATUAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE *ROSMARINUS OFFICINALIS* NO FRESCOR E PRESERVAÇÃO OXIDATIVA DA CARNE REFRIGERADA DE *CYPRINUS CARPIO***

Alexandra Pretto; Carlos Frederico Ceccon Lanes; Cristiano Miguel Stefanello; Aline Monique Blank do Amaral; Fernanda Rodrigues Goulart Ferrigolo; Maria Eduarda Aude de Brum; Jane Mello Lopes; Odair dos Santos Monteiro

 10.37885/260822607 98

SOBRE OS ORGANIZADORES 112

ÍNDICE REMISSIVO 114

O POTENCIAL DOS COMPOSTOS FUNCIONAIS BIOATIVOS DO CAPIM SANTO (*CYMBOPOGON CITRATUS*)

Thielly Ribeiro Martins

Universidade Federal do Pará (UFPA)

Luis Henriques Martins

Universidade Federal do Pará (UFPA)

Jade Vitória Duarte de Carvalho

Universidade Federal do Pará (UFPA)

Railanni dos Santos Cantão

Universidade Federal do Pará (UFPA)

Marcela de Souza Figueira

Universidade Federal do Pará (UFPA)

Orquídea Vasconcelos dos Santos

Universidade Federal do Pará (UFPA)

RESUMO

As plantas que exercem atividades funcionais possuem um papel essencial tanto na diversidade biológica do nosso planeta quanto em nossas próprias vidas. Por ser uma planta funcional e constituinte de compostos bioativos, os quais possuem diversas propriedades benéficas para a saúde como prevenção das doenças crônicas não transmissíveis (DCNT), o capim-santo (*Cymbopogon citratus*) é amplamente conhecido e utilizado pela população em preparos culinários, seja na forma *in natura* da planta, como tempero em receitas culinárias, ou em forma de chá. Seus efeitos terapêuticos em escala preventiva e coadjuvante na saúde humana é resultado da presença de compostos bioativos funcionais. Neste capítulo serão apresentados dados que mostram sua potencialidade, composição em constituintes bioativos e ação nas DCNT.

Palavras-chave: Capim santo; compostos bioativos; potencial funcional.

INTRODUÇÃO

O *Cymbopogon citratus* é uma planta herbácea originária da Índia popularmente conhecida como capim-santo. No entanto, sua distribuição geográfica é ampla geralmente, encontra-se em áreas com climas tropical e subtropical. Conforme a localidade, sua nomenclatura pode variar, sendo conhecida, também, como capim-marinho, capim-limão, capim-cidró e capim-cidreira. O capim-santo apresenta por características a formação de touceiras e folhas na cor verde, as quais exalam aroma cítrico notável, com laterais lisas e cortantes. A planta pertencente à família *Poaceae*, ao gênero *Cymbopogon* e espécie *citratus*, possui um longo ciclo de vida, sendo comumente utilizada na medicina popular (Hossain *et al.*, 2025).

No mundo, essa planta é amplamente conhecida por sua preparação em forma de chá, sendo uma das bebidas mais consumidas. Já no Brasil, o *C. citratus* é comumente usado como remédio natural e o consumo de seu chá está diretamente relacionado com práticas culturais, feito majoritariamente por infusões caseiras, sendo sua folha a parte que se destaca para o uso devido suas propriedades bioativas e, também, seu óleo, o qual apresenta características analgésicas, calmantes, sudoríferas e carminativas (Campo-Fernández *et al.*, 2020; Oliveira; Santos, 2021; Sarrico *et al.*, 2020).

De acordo com a Farmacopéia Brasileira, o capim-santo é determinado como uma planta medicinal, capaz de aliviar ou curar enfermidades devido a sua composição biológica. Dentre as propriedades bioativas desse vegetal, estão presentes compostos fenólicos, como flavonóides e pigmentos como clorofila *a* e *b*, sendo descrito também a presença de alcalóides, terpenóides, taninos e a presença do citral, composto encontrado em seu óleo essencial (Oliveira *et al.*, 2019; Unuigbo *et al.*, 2019; Brasil, 2021).

Dessa forma, a grande variedade de compostos bioativos presentes no capim-santo o torna promissor para fins terapêuticos, com capacidade de prevenir e atenuar estados patológicos devido suas ações anti-inflamatórias e antioxidantes. Essas propriedades podem atuar no organismo e participar do tratamento de diversos quadros clínicos como hipertensão arterial, oxidação celular a fim de evitar células cancerígenas e doenças cardiovasculares, as quais se caracterizam por doenças crônicas não transmissíveis (DCNT), com

altas taxas de mortalidade ao redor do mundo (Oladeji *et al.*, 2019; Dias; Simas; Junior; 2020; Moraes *et al.*, 2022).

METODOLOGIA

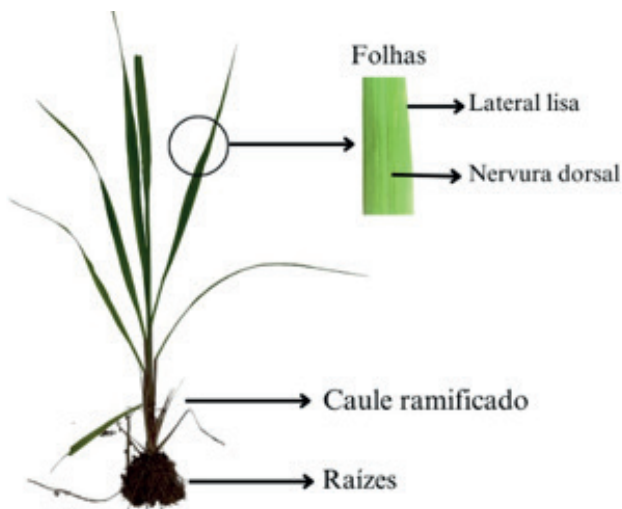
A presente pesquisa é bibliográfica, com objetivo descritivo do potencial fitoquímico e bioativo do capim santo (*Cymbopogon citratus*). Realizou-se uma pesquisa bibliográfica, com busca nas bases de dados BVS, Web of Science, MEDLINE (PubMed) e Science Direct de artigos científicos em periódicos, em inglês e português, utilizando-se como descritores "*Cymbopogon citratus*", "bioactive compounds", "nutricional" e "functional" de forma isolada ou combinados entre si pelo descritor booleano "AND".

CLASSIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS BOTÂNICAS

O *Cymbopogon citratus* é uma planta popularmente conhecida como capim-santo que pode ser encontrada em diversas regiões do mundo, geralmente em áreas com climas tropical e subtropical, e sua espécie pertence à família Poaceae. Comumente utilizada na medicina popular, essa erva também recebe outros nomes, como capim-marinho, capim-limão, capim-cidrô e capim-cidreira, dependendo da região (De Souza; Neves; Brito, 2022).

Além disso, dentre suas características botânicas, se apresenta como uma planta herbácea — possui partes aproveitáveis posicionadas acima do solo — e perene, a qual cresce cerca de 0,6 a 1,5 m de altura, se desenvolvendo de forma adjacentes estruturando tufos palhosos com raízes escuras e abundantes; caule pequeno, subterrâneo e ramificado com coloração escurecida; as folhas são perfumadas — exalam odor cítrico marcante, possuem cor verde e podem crescer em até 90 cm de altura, sendo longas e lineares, com laterais lisas e cortantes, que evitam a diminuição da perda de água, servem como proteção contra predadores e atraem polinizadores, e possuem nervura dorsal aparente ao longo das folhas permitindo, por conseguinte, a transição de água e nutrientes entre as folhas (Blanco; Oliveira, 2022).

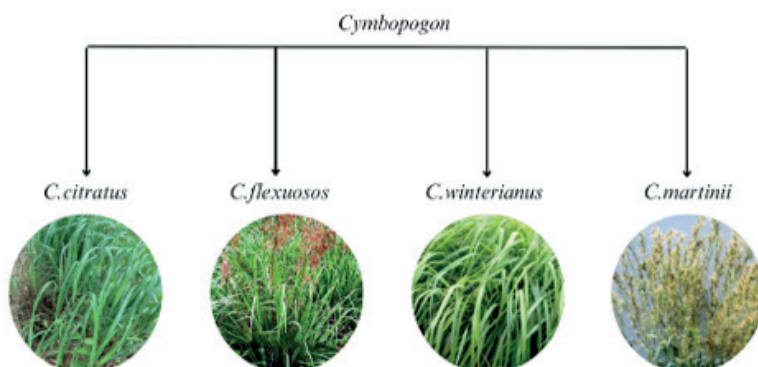
Figura 1 - Morfologia do *Cymbopogon citratus* (DC.) Stap.



Fonte: Autores (2026).

Vale ressaltar que, de acordo com Prochnow (2018) e Kumoro *et al.* (2021), a família *Poaceae*, a qual o capim-santo pertence, representa cerca de 180 espécies em diferentes regiões do mundo, caracterizadas por possuir grande variabilidade morfológica e química. Quanto a sua etnobotânica, o *C. citratus* é uma das principais espécies amplamente utilizadas para fins medicinais juntamente com a *C. flexuosus*, *C. winterianus* e *C. martinii* devido ao potencial farmacológico presente em seus fitoquímicos, além de apresentarem em sua composição o óleo essencial, com diversas propriedades que as permitem serem utilizadas no mercado (Figura 2).

Figura 2 - Principais espécies do gênero *Cymbopogon*.



Fonte: Autores (2026).

O gênero *Cymbopogon* é naturalmente distribuído na África e na Ásia, localizado na parte oriental da África e na parte central da Malásia, estendendo-se para a China, Austrália e adaptadas em alguns países da Europa, como Itália e Reino Unido (Prochnow, 2018; Sharma; Sharma; Soni, 2020).

No Brasil, o capim-santo foi introduzido e aclimatado na época colonial e hoje está presente em todas as regiões do país. Dentre as espécies que chegaram ao país juntamente com o *C. citratus*, estão o *Cymbopogon densiflorus* (Steud.) Stapf, *Cymbopogon nardus* (L.) Rendle, *Cymbopogon winterianus* (DC) Stapf e *Cymbopogon flexuosus* (Figura 3) (Prochnow, 2018; Alencar et al., 2019).

Figura 3 - Algumas espécies do gênero *Cymbopogon* existentes no Brasil. (A) *C. citratus*; (B) *C. flexuosus*.



Fonte: Autores (2026); Prochnow, 2018.

O *C. citratus* se caracteriza por ser uma planta perene, ou seja, apresenta o longo ciclo de vida, vive por mais de dois anos e tem a capacidade de se regenerar e florescer anualmente. À vista disso, diferentes fatores ambientais influenciam a qualidade da matéria-prima presente das plantas, como localização geográfica, o clima da região, a luminosidade e a umidade disponível (Brasil, 2021).

Em virtude da presença de compostos fitoquímicos com potencial farmacológico e de óleo essencial em sua composição, o *Cymbopogon citratus* é uma das principais espécies medicinais e, conseqüentemente, é utilizado com frequência com finalidades terapêuticas. Nesse viés, seus constituintes contribuem também com as diversas possibilidades de aplicabilidades mercadológicas, uma vez que suas propriedades sensoriais e seu emprego etnofarmacológico facilitam formas distintas de utilização da matéria-prima (Oliveira; Santos; 2021; Tazi *et al.*, 2024)

Potencialidades nutricionais

Na perspectiva da qualidade nutricional do *Cymbopogon citratus*, o estágio de maturidade e a localização geográfica em que a planta foi cultivada influenciam em valores distintos em sua composição. Nesse sentido, nutricionalmente, sua qualidade pode ser determinada por intermédio de valores estimados da composição centesimal, uma vez que considera a presença de umidade, cinzas, proteínas, carboidratos, fibra alimentar e lipídios (Tabela 1) (Muala *et al.*, 2021).

Tabela 1 - Análise centesimal do *Cymbopogon citratus* expressas em base seca.

Parâmetros %	Autores		
	Nimenibo-Uadia, Nwosu (2020)	Muala et al. (2021)	Irfan et al. (2022)
Umidade	72,94±0,02	-	-
Cinzas	9,40± 0,23	8,06±0,05	4,83±0,07
Proteínas	15,86±0,15	8,40±0,05	3,82±0,04
Carboidratos	66,00±1,11	44,16±0,77	58,58±2,15
Lipídios	6,90±0,10	4,45±0,10	2,23±0,03
Fibra Alimentar	-	30,32±0,65	20,61 ± 1,13
VET (kcal/100)	391,70	-	-

A análise centesimal do *Cymbopogon citratus* apresentada na tabela evidencia variações importantes na composição nutricional quando comparada entre

diferentes estudos. O teor de umidade observado por Nimenibo-Uadia e Nwosu (2020) (72,94%) indica elevada presença de água na amostra in natura, o que pode influenciar diretamente na estabilidade e conservação do material vegetal.

O conteúdo proteico também apresentou variação expressiva, sendo mais elevado em Nimenibo-Uadia e Nwosu (15,86%) em comparação com Muala *et al.* (8,40%) e Irfan *et al.* (3,82%), o que pode indicar diferenças metodológicas ou de origem da amostra.

Quanto aos carboidratos, observa-se predominância em todos os estudos, com destaque para o valor de 66,00% encontrado por Nimenibo-Uadia e Nwosu (2020), superior aos relatados por Muala *et al.* (44,16%) e Irfan *et al.* (58,58%), evidenciando que o capim-santo é uma importante fonte energética. O teor de lipídios foi relativamente baixo em todas as análises, variando de 2,23% a 6,90%, característica típica de plantas aromáticas. Já a fibra alimentar, reportada apenas por Muala *et al.* (30,32%) e Irfan *et al.* (20,61%), demonstra que a espécie também pode contribuir para a ingestão de fibras na dieta. Por fim, o valor energético total (391,70 kcal/100 g), apresentado apenas por Nimenibo-Uadia e Nwosu (2020), reforça o potencial do *C. citratus* como fonte complementar de energia.

Em relação às cinzas, quantificadas pelo conteúdo inorgânico presente na amostra por incineração segundo Birhanu *et al.*, (2021), o capim-santo contém uma variedade de minerais, os quais desempenham papéis fundamentais tanto para a saúde, quanto para o desempenho das principais funções metabólicas das células da planta em estudo. Dentre eles estão o cálcio, sódio, potássio, ferro e fósforo de acordo com valores apresentados na literatura na Tabela 2.

Tabela 2 - Análise de micronutrientes do *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf.

Parâmetros em mg/100g	Autores	
	Oladeji <i>et al.</i> (2019)	Alabi <i>et al.</i> (2021)
Ferro	0,02	1,15±0,01
Sódio	54,8	9,84±0,06
Potássio	59,5	54,04±0,02
Cálcio	39,5	51,07±0,02
Fósforo	89,3	-

Dentre os minerais presentes na folha do capim-santo, é notável que o fósforo, cálcio e potássio apresentam os maiores valores, seguidos do sódio e ferro.

São importantes para muitas funções do corpo humano e desempenham um papel crucial na saúde, incluindo a formação e manutenção dos ossos e dentes, o transporte de oxigênio pelo sangue, o funcionamento adequado dos músculos e nervos, a regulação do equilíbrio de líquidos no corpo (Oliveira; Santos, 2021).

De modo geral, as diferenças observadas entre os estudos podem ser atribuídas a fatores como condições ambientais, métodos de análise e processamento das amostras, destacando a importância da padronização para melhor comparação dos resultados.

Processo de utilização e produção

A comercialização do capim-santo é amplamente realizada, sendo empregado, por sua vez, nas indústrias farmacêutica, alimentícia e cosmética. Em virtude da significativa presença de citral — composto orgânico — em seu óleo essencial, a planta possui odor cítrico característico contribuindo com sua utilização na fabricação de aromatizantes, fragrâncias e sabores naturais. Nesse viés, o *Cymbopogon citratus* pode ser aproveitado de formas distintas, incluindo folhas frescas ou secas, extrato concentrado ou óleo essencial. Todas essas funcionalidades seguem regulamentações determinadas por órgãos como o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) — Comitê Técnico nº 54 da *International Standardization Organization*, e a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (Brasil, 2022).

Em aspectos farmacológicos, o *C. citratus* possui diversas propriedades medicinais e efeitos terapêuticos e é amplamente utilizado na indústria farmacêutica. O capim-santo contém vários compostos químicos como flavonóides, carotenóides, taninos, glicosinolatos, pigmentos, além da extração de seu óleo, o qual apresenta o citral, uma substância bioativa com importante propriedades antimicrobianas, antifúngicas, analgésicas, antimicrobiana, carminativa, diurético, febrífugo e fungicida, com capacidade para produzir vários medicamentos (Magrota; Singh, 2021; Kiani *et al* 2022).

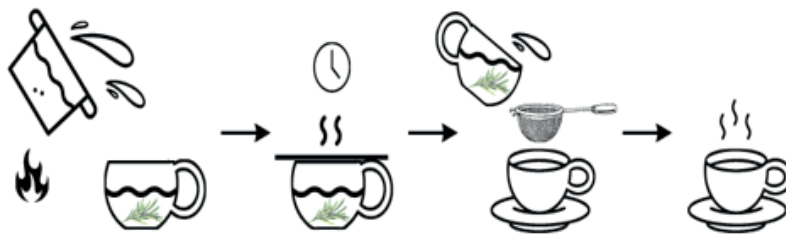
Ademais, suas capacidades terapêuticas são reconhecidas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), a qual define o *C. citratus* como uma

planta medicinal e fitoterápica, caracterizadas por uma espécie vegetal que contém substâncias químicas que podem ser usadas para atenuar sintomas de uma condição médica. Essas plantas têm sido usadas para fins medicinais em muitas culturas ao redor do mundo há milhares de anos e, atualmente, diversos estudos foram feitos para a comprovação de sua segurança e eficácia. O uso popular brasileiro desse fitoterápico é feito para tratar cólicas abdominais, febres, dores abdominais e hipertensão, muito comum através do consumo de chás (infusão, decocção e maceração), gargarejo, inalação, banho e xarope (Oliveira; Santos, 2021; Alvarenga *et al.*, 2022; Brasil, 2022).

No mundo, o chá é abrangentemente valorizado por seus benefícios à saúde, já que muitas plantas possuem propriedades medicinais e terapêuticas e está diretamente relacionado às práticas curativas, tendo suas origens na cultura indígena, negra e europeia sendo uma das principais formas de preparo a infusão, com maior importância aquelas obtidas de ervas frescas (Brasil, 2022).

Conforme a Resolução de Diretoria Colegiada - RDC Nº 716, de 1º julho de 2022, a definição de chá se dá por "produto constituído de uma espécie vegetal autorizada para o seu preparo, inteira, fragmentada ou moída, com ou sem fermentação, tostada ou não" (Brasil, 2022). No que diz respeito à infusão, é uma forma simples e prática de preparação para a obtenção do chá. Consiste em adicionar cento e cinquenta mililitros de água potável fervente em 100°C sobre uma quantidade de três gramas da espécie vegetal e, posteriormente, tampar ou abafar o recipiente por um período determinado de cinco minutos, para que o sabor, aroma e nutrientes sejam liberados (Figura 4). As partes da planta utilizadas são as que apresentam uma espessura menos rígida, tais como folhas, flores, inflorescências e frutos. (Brasil, 2021; Manosso, 2021; Santos; Siqueira, 2022).

Figura 4 - Preparação de chás pelo método de infusão.



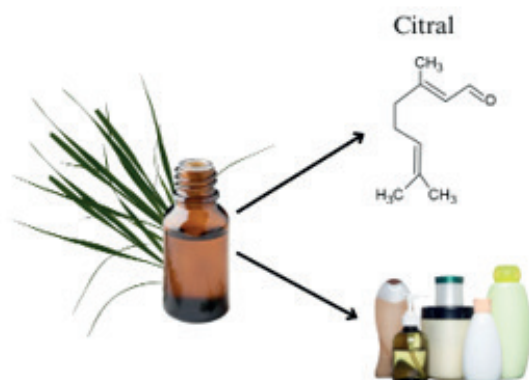
Fonte: Adaptado de BRASIL, 2022.

Na indústria alimentar, o *Cymbopogon citratus* é utilizado como conservante natural em alimentos e bebidas devido às suas propriedades antimicrobianas. As doenças transmitidas por alimentos são altamente prevalentes em todo o mundo. A contaminação de fontes alimentares por fungos, bactérias, leveduras, nematóides, insetos e roedores continua sendo um grande problema de saúde pública (Bermúdez-Vásquez; Granados-Chinchilla; Molina, 2019; Enríquez-Estrella; Poveda-Díaz; Alvarado-Huatatoca, 2019).

Consoante a Bergmeier *et al.* (2020) e Everton *et al.* (2020) os compostos ativos do capim-santo ajudam a inibir o crescimento de microrganismos, prolongando a vida útil dos produtos e reduzindo a necessidade de aditivos químicos. Assim, sua aplicação está presente na conservação de alimentos, como frutas e hortaliças e na produção de alimentos, como queijos e linguiça frescal.

No quesito cosmético, o óleo essencial, rico em citral (Figura 5), o responsável pelo aroma cítrico característico da planta, torna o capim-santo valioso para a produção de aromatizantes, fragrâncias e sabores natural, sendo muito apreciado em perfumes e produtos de higiene pessoal, como sabonetes, colônias e desodorantes, além de melhorar nas condições de pele e cabelo. A produção anual de óleo essencial é de cerca de 300 toneladas, sendo cultivado em países da América do Sul e Central (Brasil, Argentina, Ilhas do Caribe, Guatemala, Honduras e Haiti) e Ásia (Índia, China, Sri Lanka, Java, Vietnã, Malásia, Bangladesh e Mianmar) e está entre os mais produzidos no mundo, juntamente com o óleo de laranja, hortelã-pimenta e eucalipto (Prochnow, 2018; Ribeiro *et al.*, 2022; Jesus *et al.*, 2021).

Figura 5 - Óleo essencial do capim-santo, sua estrutura básica e seus subprodutos.



Fonte: Autora (2026).

Bases das ações bioativa na forma de chá ou infusões em doenças crônicas não transmissíveis

As potencialidades das Plantas com atividades funcionais desempenham um papel fundamental tanto na biodiversidade do planeta quanto em nossa vida. São de extrema importância na produção de alimentos e medicamentos, tendo em vista as diversas propriedades nutricionais e funções terapêuticas com efeitos metabólicos e fisiológicos no organismo associadas a elas (Dias; Simas; Junior, 2020; Brasil, 2021). Além de apresentarem em sua composição uma grande variedade nutricional, os vegetais são constituintes de compostos bioativos, os quais possuem diversas propriedades benéficas para a saúde, que auxiliam na prevenção das doenças crônicas não transmissíveis (DCNT) e na manutenção da saúde dos indivíduos (Almeida; Lima, 2021).

O reconhecimento do capim-santo se dá significativamente em virtude de sua composição com propriedades medicinais e seu óleo essencial, o qual apresenta o citral em sua composição e possui ampla aplicabilidade em produtos cosméticos — perfumes, sabonetes e desodorantes, por exemplo —, além de sua utilização como conservante natural em alimentos, como produtos cárneos, e do consumo de suas folhas em forma de chá (De Souza; Neves; Brito 2022). Ademais, o *Cymbopogon citratus* é definido pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) como uma planta medicinal e fitoterápica, uma vez que se

trata de uma espécie vegetal com componentes químicos que podem ser utilizados com finalidade de minimizar ou curar sintomas de uma condição médica.

Além disso, o capim-santo possui em sua composição biológica constituintes bioativos — como flavonoides, taninos, terpenoides, alcaloides e citral — fomentando sua finalidade terapêutica, por intermédio de seu impacto anti-inflamatório e antioxidante, com potencial de prevenir e mitigar enfermidades e favorecer a homeostase (Oliveira; Santos, 2021).

Considerando o expressivo aumento na incidência de doenças crônicas não transmissíveis (DCNTs) em todo o mundo. Essa condição gera impactos significativos na saúde pública representando altas concentrações de “custos” nos sistemas de saúde. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), 70% das mortes prematuras no mundo estão associadas às DCNTs (OMS, 2025). Os fatores implicados na etiologia dessas doenças, tem entre suas principais causas o sedentarismo, consumo excessivo de álcool, tabagismo e, principalmente, uma alimentação inadequada — influenciada, em grande parte, pelas transformações nos padrões alimentares da população (Gropper *et al.*, 2023).

Neste contexto, a introdução de alimentos funcionais que desempenham efeitos metabólicos e fisiológicos benéficos como o capim -santo, se evidencia como potencial Planta Alimentícia não Convencional, abundantes da região amazônica que com técnicas adequadas de uso e preparação tem seus compostos bioativos mais preservados e seu potencial aproveitados sendo um fator de proteção contra a etiologia de DCNT.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As pesquisas mostram que o potencial terapêutico dos compostos bioativos funcionais presentes no Capim Santo (*Cymbopogon citratus*) evidenciam e reforçam que seu uso pode transcender o uso culinário tradicional, consolidando-se como uma fonte de compostos bioativos com propriedades terapêuticas. A presença de constituintes funcionais no Capim-Santo demonstra um potencial promissor tanto na prevenção quanto no suporte ao tratamento de DCNTs. Assim, incentivar o seu consumo consciente e aprofundar as investigações

científicas sobre sua biodisponibilidade são passos essenciais para integrar o saber popular às estratégias de promoção da saúde.

REFERÊNCIAS

- ALABI, A. O.; IFESAN, B. O. T.; AKOSU, N. I.; OPEYEMIL, A. Chemical composition and antibacterial activity of extracts of *Cymbopogon citratus* (lemon grass) and *Phyllanthus Amarus* (Stone Breaker) Leaves. **Journal of Medicine and Healthcare. SRC/JMHC-213**, v. 176, 2021.
- ALENCAR, E. MELO.; CAJAIBA, L. R.; MARTINS, J. S. C.; CORDEIRO, R. S.; SOUSA, E. S.; SOUSA, V. A. Estudo etnobotânico do conhecimento e uso das plantas medicinais no município de Buriticupu, Maranhão, Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 6, p. 328-338, 2019.
- ALMEIDA, J.A. S.; LIMA, C. Y. C. Nutrigenômica e as doenças crônicas não transmissíveis: uma revisão bibliográfica entre os poliformismos e compostos bioativos. **Revista Multidisciplinar em Saúde**, v. 2, n. 4, p. 09-09, 2021.
- ALVARENGA, A. C. C.; THOMES, C. R.; AGUIAR, A. D.; MARTINS, I. R.; PIGNATON, L. M. F.; VÁSQUEZ, E. C.; MEYRELLES, S. S. Aplicações terapêuticas do *Cymbopogon citratus* (capim-limão) na odontologia: uma revisão de literatura integrativa. **Revista Fluminense de Odontologia**, v. 3, n. 59, p. 85-106, 2022.
- BERGMEIER, D.; FINZER, J. R. D.; SFREDO, M. A. Óleo essencial de capim-limão (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf): uma revisão da literatura. *In*: 9º JEPEX e 3º Mostra Cultural. 2020.
- BERMÚDEZ-VÁSQUEZ, M. J.; GRANADOS-CHINCHILLA, F.; MOLINA, A. Composición química y actividad antimicrobiana del aceite esencial de *Psidium guajava* y *Cymbopogon citratus*. **Agronomía mesoamericana**, p. 147-163, 2019.
- BIRHANU, N.; YOHANNES, W.; CHANDRAVANSI, B. S. Determination of selected major and trace metals in lemongrass (*Cymbopogon citratus*) by microwave plasma-atomic emission spectrometry. **SINET: Ethiopian Journal of Science**, v. 44, n. 2, p. 205-214, 2021.
- BLANCO, M. C. S. G.; OLIVEIRA, G. B. Plantas medicinais para sistema agroflorestal. Campinas: CATI, 2022. 68 p. (Documento Técnico; n. 127).
- BRASIL, Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Formulário Fitoterápico da Farmacopeia Brasileira 2ª edição. Brasília: ANVISA, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/farmacopeia/formulario-fitoterapico/arquivos/2021-fffb2-final-c-cap2.pdf>. Acesso em: 17 de fev de 2026.
- BRASIL, Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Formulário Fitoterápico da Farmacopeia Brasileira 2ª edição. Brasília: ANVISA, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/farmacopeia/formulario-fitoterapico/arquivos/2021-fffb2-final-c-cap2.pdf>. Acesso em: 17 de fev de 2026.
- BRASIL, Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Orientações sobre o uso de fitoterápicos e plantas medicinais. Brasília: ANVISA, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/centraisdeconteudo/publicacoes/medicamentos/publicacoes-sobre-medicamentos/orientacoes-sobre-o-uso-de-fitoterapicos-e-plantas-medicinai>. Acesso em: 23 de mar de 2026.

BRASIL, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC Nº 716, de 1º julho de 2022. Dispõe sobre os requisitos sanitários do café, cevada, chás, erva-mate, especiarias, temperos e molhos. Brasília, DF: ANVISA, 2022. Disponível em: http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RDC_716_2022_.pdf/9c7579a7-9e06-4f64-9d6c-c5a2. Acesso em: 2 de fev. de 2026.

CAMPO-FERNÁNDEZ, M.; CRUZ-ALVIA, C.; CUNALATA-CUEVA, G.; MATUTE-CASTRO, N. Infusiones de Moringa oleifera (moringa) combinada con *Cymbopogon citratus* (hierba luisa) y *Lippia alba* (mastranto). **Revista Ciência UNEMI**, v. 13, n. 34, p. 114-126, 2020.

DE JESUS, J. G.; LOBO, V. da S.; DA ROSA, M. F.; EISING, R. Elaboração de fórmulas farmacêuticas de uso tópico utilizando óleo essencial extraído do capim limão. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 21800-21815, 2021.

DE SOUZA, T. A. A.; NEVES, N. C. S.; BRITO, I. Uso popular de plantas medicinais no estado de Pernambuco: uma revisão integrativa. **Revista Amazônia Science & Health**, v. 10, n. 2, 2022.

DIAS, S. S.; SIMAS, L.; JUNIOR, L. C. L. Alimentos funcionais na prevenção e tratamento de doenças crônicas não transmissíveis. **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, v. 4, n. 10, p. 54-61, 2020.

ENRÍQUEZ-ESTRELLA, M. Á.; POVEDA-DÍAZ, S. E.; ALVARADO-HUATATOCA, G. I. Bioactivos de la hierba luisa utilizados en la industria. **Revista mexicana de ciencias agrícolas**, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2023.

EVERTON, G. O.; SANTOS JÚNIOR, P. S.; ARAÚJO, R. J. P.; FERREIRA, A. M.; GOMES, P. R. B.; ROSA, P. V. S.; PEREIRA, A. P. M.; MOUCHREK FILHO, V. E. Chemical profile and antimicrobial potential of essential oils of *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf, *Ocimum basilicum* Linn and *Aniba roseodora* Ducke. **Scientia Plena**, v. 16, n. 6, 2020. DOI: doi.org/10.14808/sci.plena.2020.061502.

GROPPER, S. S. The role of nutrition in chronic disease. **Nutrients**, v. 15, n. 3, p. 664, 2023.

HOSSAIN, M. S.; WAZED, M. A.; ASHA, S.; AMIN, M. R.; SHIMUL, I. M. Dietary phytochemicals in health and disease: mechanisms, clinical evidence, and applications—a comprehensive review. **Food Science & Nutrition**, v. 13, e70101, 2025.

IRFAN, S.; RANJHA, M. M. A. N.; NADEEM, M.; SAFDAR, M. N.; JABBAR, S.; MAHMOOD, S.; MURTAZA, M. A.; AMEER, K.; IBRAHIM, S. A. Antioxidant activity and phenolic content of sonication- and maceration-assisted ethanol and acetone extracts of *Cymbopogon citratus* leaves. **Separations**, v. 9, n. 9, p. 244, 2022.

KIANI, H. S.; ALI, A.; ZAHRA, S.; HASSAN, Z. U.; KUBRA, K. T.; AZAM, M.; ZAHID, H. F. Phytochemical composition and pharmacological potential of lemongrass (*Cymbopogon*) and impact on gut microbiota. **AppliedChem**, v. 2, p. 229–246, 2022.

KUMORO, A. C.; WARDHANI, D. H.; RETNOWATI, D. S.; HARYANI, K. A brief review on the characteristics, extraction and potential industrial applications of citronella grass (*Cymbopogon nardus*) and lemongrass (*Cymbopogon citratus*) essential oils. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 1053, 012118, 2021.

MAGOTRA, S.; SINGH, A. P.; SINGH, A. P. A review on pharmacological activities of *cymbopogon citratus*. **International Journal of Pharmaceutics and Drug Analysis**, v. 9, n. 2, p. 151-157, 2021.

MANOSSO, F.; OLIVEIRA, E.; HEIDMANN, V. B.; ANESE, S. Levantamento Etnobotânico de plantas medicinais no Município de Campo Novo do Parecis-Mt. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 11, n. 1, p. 349-365, 2021.

MORAES, G. V.; Jorge, G. M.; Gonzaga, R. V.; Santos, D. A. Potencial antioxidante dos flavonoides e aplicações terapêuticas. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 14, p. e238111436225-e238111436225, 2022.

MUALA, W. C. B.; DESOBOGO, Z. S. C.; JONG, N. E. Optimization of extraction conditions of phenolic compounds from *Cymbopogon citratus* and evaluation of phenolics and aroma profiles of extract. **Heliyon**, v. 7, n. 4, p. e06744, 1 abr. 2021.

NIMENIBO-UADIA, R.; NWOSU, E. O. Phytochemical, proximate and mineral elements composition of lemongrass (*Cymbopogon citratus* (DC) stapf) grown in ekosodin, Benin city, Nigeria. **Nigerian Journal of Pharmaceutical and Applied Science Research**, v. 9, n. 2, p. 52-56, 2020.

OLADEJI, O. S.; ADELOWO, F. E.; AYODELE, D. T.; ODELADE, K. A. Phytochemistry and pharmacological activities of *Cymbopogon citratus*: A review. **Scientific African**, v. 6, p. e00137, 2019.

OLIVEIRA, C. C. A.; SANTOS, J. S. Active compounds of lemon grass (*Cymbopogon citratus*): a review. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 12, p. e263101220281, 2021.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). Noncommunicable diseases. Genebra: OMS, 2025. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases>. Acesso em: 28 mar. 2026

PROCHNOW, D. Caracterização morfo-anatômica e metabólica de espécies do gênero *Cymbopogon*: uma contribuição para o melhoramento das espécies. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia Eliseu Graciel, Universidade Federal de Pelotas, Rio Grande do Sul, 2018.

RIBEIRO, M. C. M. C.; OLIVEIRA, V. C.; VIRGENS, A. P.; PEREIRA, T. Desenvolvimento de cosmético natural com óleos essenciais de capim-santo e pimenta-rosa com extração por processo enzimático. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 15, p. e308111537174-e308111537174, 2022.

SANTOS, V. S.; SIQUEIRA, R. M. Chás e infusões no ensino de química: Uma oficina temática para ensino de funções orgânicas. **Revista de Estudos em Educação e Diversidade-REED**, v. 3, n. 7, p. 1-26, 2022.

SARRICO, L. D.; ANGELINI, A.; FIGUEIREDO, A. S.; EUFRASIO, B. de S.; VEDOLIN, E. C.; NOQUELI, L. V.; BRASESCO, L. A.; SANTIAGO, R. D. D. S.; YAMATO, M. A. C.; CARDOSO, M. A. P. A study of the use of mint (*Mentha x Villosa* Huds), passion fruit leaf (*Passiflora Edulis*), Chamomile (*Matricaria Chamomilla* L.) and Lemon balm (*Melissa Officinalis*) teas in the treatment and prevention of anxiety: a bibliographic review. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n., p. 61985-62005, 2020.

SHARMA, S.; SHARMA, S.; SONI, K. Lemongrass: it's uses, medicinal and industrial properties. **Just Agriculture**, v.1, n.3, 2020. Disponível em: <https://justagriculture.in/files/newsletter/nov/065.%20Lemongrass.pdf>. Acesso em: 29 mar. de 2026.

TAZI, A.; ZINEDINE, A.; ROCHA, J. M.; ERRACHIDI, F. Review on the pharmacological properties of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) as a promising source of bioactive compounds. **Pharmacological research-natural products**, v. 3, p. 100046, 2024.

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE REAPROVEITAMENTO DO LÚPULO RESIDUAL DO DRY HOPPING NO PROCESSO CERVEJEIRO

Micheli Legemann Monte

Universidade Federal do Rio Grande (FURG)

Érica de Oliveira Dias

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ)

RESUMO

O aproveitamento de resíduos agroindustriais é um dos objetivos da economia circular para promover um desenvolvimento mais sustentável. O resíduo de lúpulo trata-se de um subproduto cervejeiro cuja quantidade gerada vem crescendo nos últimos anos devido ao aumento no consumo de cervejas de estilo amargo. Pesquisas recentes demonstram que a cada 1000 litros de cerveja são utilizados até 22 kg de lúpulo. O objetivo deste estudo foi avaliar o reaproveitamento de lúpulo residual do processo de dry hopping como segunda via de utilização na etapa de fervura para a fabricação de cerveja. O resíduo de lúpulo coletado após a etapa de dry hopping apresentou teor de α -ácidos de $5,4 \pm 0,2$ % e β - ácidos de $3,2 \pm 0,4$ %. A pesquisa converge com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos na "Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável", especificamente, o ODS 9 - construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação, o ODS 12 - consumo e produção responsáveis: garantir padrões de consumo e de produção sustentáveis. No presente trabalho, foi utilizado resíduo de lúpulo desidratado em pó que representou 30,2 % do total de lúpulo de amargor adicionado durante a fervura e foi alcançado o resultado satisfatório nas análises físico-químicas permitindo classificar a cerveja como IPA, alcançando álcool de 4,38 % v/v, extrato real de 3,35 % m/m, extrato aparente de 1,75 % m/m, extrato primitivo - % plato 10,09 % m/m, calorias 36 kcal/100mL, pH 4,57, cor 20,70 EBC, amargor 65 IBU e turvação 24h 0°C EBC - leitura a 90° 6,89.

Palavras-chave: Indústria cervejeira; dry hopping; resíduos; inovação; economia circular.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, os estilos de cerveja com lúpulo predominante no sabor ganharam cada vez mais atenção entre os consumidores (LAFONTAINE *et al.*, 2018). O público brasileiro demonstra um crescente apreço por cervejas lupuladas. Essa tendência é evidenciada pelo aumento da popularidade de cervejas do estilo India Pale Ale (IPA). O entusiasmo do brasileiro por essas cervejas revela um mercado em expansão, impulsionando a indústria a experimentar novas fórmulas e técnicas de lúpulo para satisfazer a demanda por produtos diferenciados e de alta complexidade.

A produção e o consumo de cervejas amargas obtidas pela técnica de dry hopping aumentou significativamente na última década devido em grande parte à popularidade das cervejas artesanais. Dry hopping é a extração a frio de compostos voláteis e não voláteis do lúpulo em uma solução alcoólica, utilizada para aumentar o aroma e a estabilidade do sabor da cerveja. Normalmente, após o processo, o lúpulo é filtrado da cerveja e tratado como material residual (ALFEO *et al.*, 2023; KARLOVIĆ *et al.*, 2020).

Em estilos de alta intensidade aromática, essa dosagem pode atingir marcas extremas de até 22 g/L, o que representa o uso de 22 kg de lúpulo para cada 1.000 litros de cerveja produzidos. Esse volume expressivo de matéria-prima não apenas eleva os custos operacionais, mas também gera desafios técnicos, uma vez que o lúpulo absorve uma quantidade considerável de líquido, resultando em perdas diretas no rendimento final do produto (GOMES *et al.*, 2022).

No entanto, o lúpulo residual do processo de dry hopping ainda é inexplorado. Estudos recentes mostram que esses resíduos ainda contêm alta concentração de polifenóis, bem como α e β -ácidos. Isso demonstra que o lúpulo residual deste processo pode ter potencial aplicação na indústria alimentícia e farmacêutica, promovendo alternativas para a reutilização de matérias-primas e diminuindo o desperdício (GASINSKI *et al.*, 2022; OLIVARES-GALVÁN *et al.*, 2022).

A reutilização do lúpulo residual proveniente do dry hopping tem potencial de integração às estratégias já adotadas de Economia Circular (EC) pela indústria cervejeira. Este modelo regenerativo e inovador, que visa a permanência de recursos e produtos em uso pelo maior tempo possível na economia, através da

maximização do seu ciclo de vida e reinserção de subprodutos e resíduos no processo produtivo. Segundo Ghisellini *et al.* (2017) e Geissdoerfer *et al.* (2017) o modelo circular se opõe ao modelo linear de produção, "take-make-use-dispose" (extrair-produzir-consumir-descartar), pautado na exploração e no consumo de recursos naturais e na geração de resíduos e poluentes, dissociando o desenvolvimento econômico do consumo de recursos finitos (GEISSDOERFER *et al.*, 2017; GUISELLINI *et al.*, 2017;).

Nos últimos anos, a EC tem se estabelecido como uma das principais tendências da sustentabilidade, uma das principais abordagens para enfrentamento de desafios ambientais no planeta (CNI, 2024).

Mais do que um conceito, a EC é uma forma de organizar as atividades econômicas – seja de uma indústria, um comércio, um prestador de serviço ou mesmo de uma cidade, visando aproveitar os recursos naturais de uma maneira mais eficiente e sistêmica (CNI, 2024). A EC traz uma proposta estratégica e sistêmica para atenuar os impactos socioambientais negativos, a fim de manter produtos, materiais e componentes no seu maior valor e utilidade a todo tempo dentro de dois ciclos associados: ciclo biológico e ciclo técnico (EMC, 2023).

A aplicação da EC na indústria de alimentos e bebidas exige uma transição do foco em gestão de resíduos para a preservação do valor biológico e técnico ao longo de toda a cadeia produtiva. Conforme destaca Veiga (2024), este setor opera no chamado "ciclo biológico", onde o objetivo fundamental é garantir que os nutrientes retornem à biosfera de forma segura e regenerativa. No Brasil, essa interface é estratégica, pois permite que subprodutos do processamento industrial — anteriormente tratados como desperdício — sejam reintroduzidos no mercado como novos insumos, fertilizantes orgânicos ou biomassa para geração de energia, reduzindo a pressão sobre os ecossistemas naturais e otimizando a eficiência material.

O reaproveitamento do lúpulo residual do dry hopping no processo cervejeiro converge com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos na "Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável", especificamente, o ODS 9 - construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação, o ODS 12 - consumo e produção

responsáveis: garantir padrões de consumo e de produção sustentáveis e em particular o 12.3 - consumo e produção responsáveis.

MÉTODOS

Resíduo de lúpulo

As amostras de lúpulo (*Humulus lupulus*) das variedades Citra e Cascade foram coletadas após a operação de dry hopping do processo de produção de cerveja em uma Microcervejaria (Rio Grande/RS/Brasil). O material foi tratado com água destilada para remoção de resíduos de levedura, conforme descrito por (GASIŃSKI *et al.*, 2022). Após foi filtrado em peneira de 200-mesh, centrifugado (5000 xg; 30min) e submetido a secagem em secador com bomba de calor à temperatura de 50 °C por 3 h, resultando no resíduo de lúpulo seco.

Caracterização do resíduo de lúpulo

O resíduo do lúpulo foi caracterizado com relação ao diâmetro de partícula, teor de umidade e teor de α , β – ácidos (ASBC Methods of Analysis, 2004). O tamanho médio das partículas (D_p) foi realizado de acordo com os padrões ASAE através da classificação do tamanho das partículas usando um sistema vibratório, e montado com peneiras de 48 a 100 mesh (WS Tyler, Wheeling, EUA), teor de umidade de acordo com o método oficial da AOAC (1995), e teor de α , β – ácidos de acordo com o método oficial ASBC (Methods of Analysis, 2004). A Figura 1 apresenta o lúpulo residual utilizado no presente trabalho.

Figura 1 - Lúpulo residual seco.



Fonte: Produção do autor.

Seleção das matérias-primas

Para a atividade experimental de produção cervejeira foram selecionadas as seguintes matérias-primas e utilizadas as respectivas quantidades: malte pale ale 45 kg, malte pilsen 1,2 kg, malte carapils 8 kg, malte carafa III 0,3 kg, malte vienna 0,7 kg, malte caramunich I, lúpulo hallertau hercules pellet 0,3 kg, resíduo de lúpulo recuperado desidratado em pó 0,13 kg, lúpulo fuggle pellet 0,4 kg e levedura SafLager W-34/70 120 g.

Previamente foi feito o cálculo teórico de amargor previsto considerando o percentual de α -ácidos dos lúpulos frescos e do lúpulo recuperado desidratado em pó a fim de definir o peso de cada lúpulo a ser adicionado.

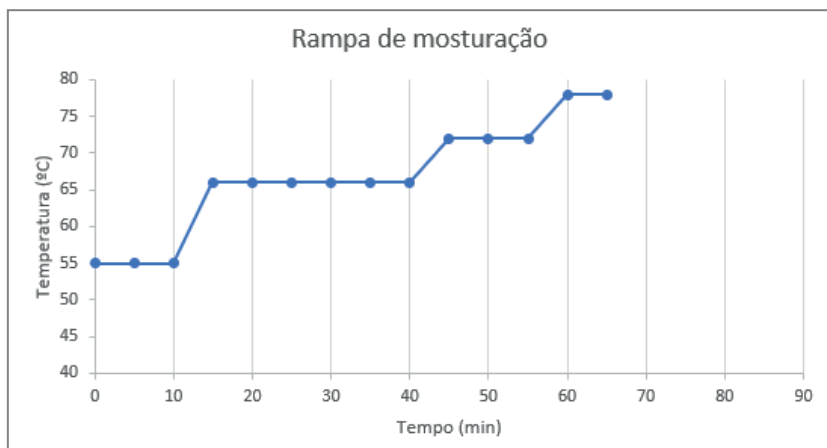
O lúpulo recuperado após dry hopping passou pela secagem. A técnica aplicada utilizou um secador com sistema de bomba de calor (SBC), com um equipamento desumidificador acoplado, na Escola de Química e Alimentos da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), sendo disponibilizado em pó para ser utilizado neste trabalho, apresentando 5,4 % de α -ácidos.

Processo de fabricação de cerveja

O processo de fabricação de cerveja seguiu as etapas de moagem, mosturação, filtração, fervura, resfriamento, fermentação, maturação, dry hopping e envase. Os equipamentos utilizados foram previamente higienizados e sanitizados com soluções de produtos químicos de grau alimentício diluídos em água de acordo com as especificações dos fabricantes (MUXEL, 2022). Inicialmente foi realizada a moagem dos maltes em um moinho de dois rolos, com calibre 0,85. O malte moído foi adicionado às tinas de mosturação contendo 340 litros de água declarada.

A etapa de mosturação foi realizada seguindo a rampa de aquecimento de 10 minutos em 55°C, 30 minutos em 60 °C, 30 minutos em 66 °C, 15 minutos em 72 °C e 5 minutos em 78 °C. A Figura 2 é a ilustração gráfica da rampa de mosturação com tempos e temperaturas.

Figura 2 - Rampa de mosturação.



Fonte: Produção do autor.

Em seguida, foi realizada a filtração na tina por 15 minutos com o mosto permeando pela camada filtrante formada por cascas desprendidas dos grãos de malte. A Figura 3 ilustra o equipamento de brassagem de pequeno porte industrial.

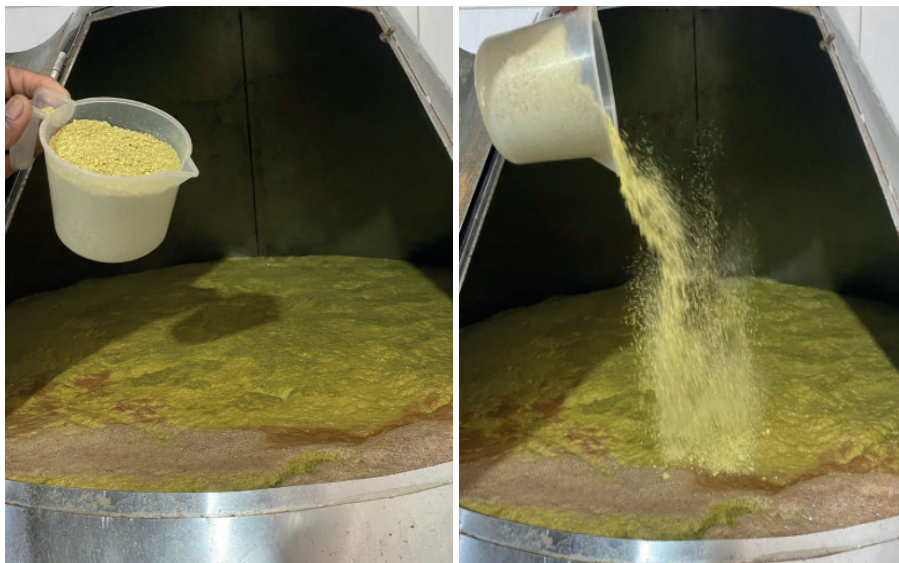
Figura 3 - Equipamento de brassagem.



Fonte: Produção do autor.

Após filtrado, o mosto cervejeiro seguiu para a etapa de fervura por 60 minutos, onde foram adicionados os lúpulos de amargor (lúpulo residual) e de aroma. A etapa de fervura do mosto tem objetivos de extração e isomerização das substâncias amargas do lúpulo, esterilização do mosto, inativação enzimática, formação de compostos aromáticos e de cor, remoção de compostos voláteis indesejáveis, acidificação do mosto e evaporação da água (MUXEL, 2022). A Figura 4 apresenta a imagem da adição do lúpulo residual seco na tina durante a fervura.

Figura 4 - Adição de lúpulo residual seco na tina de fervura.



Fonte: Produção do autor.

Após a fervura, o mosto cervejeiro foi resfriado com utilização de trocador de calor de placas de três etapas por 45 minutos, atingindo 18,3 °C ao chegar no tanque fermentador. Na etapa de fermentação da cerveja, foi introduzida a levedura no tanque fermentador quando a temperatura atingiu 12 °C. A cerveja foi mantida a 12 °C nos 2 primeiros dias, depois foi mantida a 14 °C nos 5 dias posteriores. A maturação foi conduzida a 1,5 °C por 8 dias com objetivo de ajuste do sabor, ajuste do teor de CO₂, sedimentação de leveduras e “trub” frio e estabilização da cerveja. A Figura 5 ilustra tanques fermentadores e maturadores de pequeno porte industrial utilizados neste trabalho.

Figura 5 - Tanques de pequeno porte industrial.



Fonte: Produção do autor.

Análise físico-química da cerveja

Foram coletadas amostras das cervejas maturadas dos tanques e utilizadas para as análises físico-químicas. Os parâmetros convencionais (teor alcoólico, extrato primitivo, extrato aparente, extrato real, valor energético, amargor, cor, pH e turbidez) foram analisados conforme métodos da European Brewery Convention (EBC): álcool (%v/v), extrato real (%m/m), extrato aparente (%m/m), extrato primitivo - %plato (%m/m), calorías (kJ/100mL), pH, cor (EBC), amargor (BU 57) e turvação 24h 0°C EBC - leitura a 90°. 4.4.

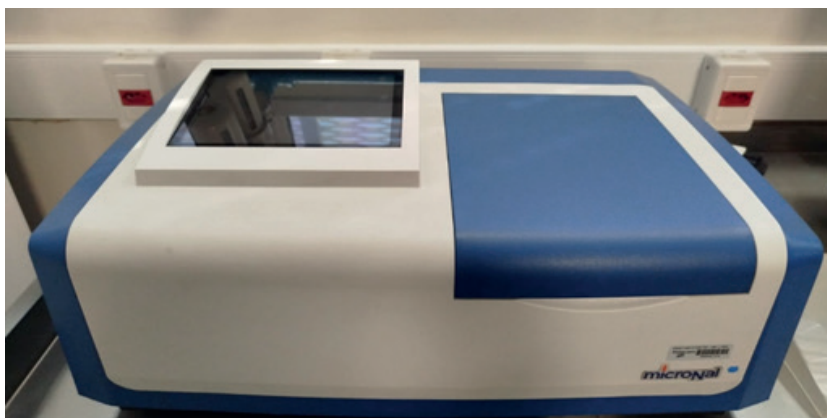
As análises das cervejas maturadas foram conduzidas utilizando-se os padrões detalhados no Analytica-EBC, que são os métodos oficiais internacionais da European Brewery Convention. Os parâmetros convencionais de teor alcoólico, extrato primitivo, extrato aparente, extrato real foram obtidos no medidor de álcool e extrato (Anton Paar). A determinação de valor energético foi obtida a partir do cálculo teórico considerando os valores de teor alcoólico, teor total de carboidratos e teor de nitrogênio. A leitura de pH foi realizada no aparelho pHmetro de bancada (Mettler Toledo). Os parâmetros de cor e amargor

foram obtidos no aparelho Espectrofotômetro UV, (Micronal). O parâmetro de turbidez foi obtido no turbidímetro, medidor de turbidez Haze (Anton Paar).

A análise de amargor da cerveja foi realizada através do método espectrofotométrico (EBC 9.8). Este é o método padrão para determinar as Unidades de Amargor (BU) em cervejas. Baseia-se na extração de compostos amargos em solventes específicos e posterior leitura de absorbância.

A Figura 6 apresenta a imagem do equipamento espectrofotômetro utilizado durante a análise de amargor da cerveja maturada conforme os padrões detalhados no Analytica-EBC.

Figura 6 - Equipamento espectrofotômetro UV.



Fonte: Produção do autor.

A partir do valor da análise físico-química de amargor e da origem das matérias-primas utilizadas no trabalho, a bebida foi classificada de acordo com os parâmetros do BJCP 2021. O guia de estilos do BJCP utiliza alguns termos específicos com significado particular: Categoria, Subcategoria e Estilo. Os estilos são organizados e agrupados tendo por base características de julgamento similares ao invés de uma origem ou nome de família em comum (BJCP, 2021).

Análise estatística

Software Statistica 12.0 (Statsoft Inc., Tulsa, EUA) ao nível de significância de 5% foi utilizado para realizar as análises dos dados. A diferença entre os valores

médios foi avaliada por Análise de Variância (ANOVA) e teste de comparações múltiplas de Tukey.

RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta a composição dos componentes majoritários do resíduo de lúpulo *in natura*. A composição química do resíduo de lúpulo está de acordo com os dados encontrados na literatura para o lúpulo em flor e *pellets* de aproximadamente 40-50% celulose e lignina, 10- 25% resinas macias (α -ácidos e β -ácidos), 15-18% proteínas, 1-5% lipídios e 7-8% cinzas (Durello *et al.* 2019).

Tabela 1 - Composição química do resíduo de lúpulo.

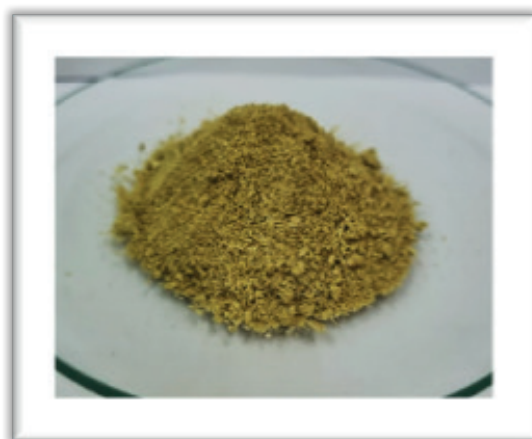
Composição	% (g 100 g ⁻¹ lúpulo seco)
Celulose e lignina	54,07 $\pm$ 0,20
α -ácidos	5,40 $\pm$ 0,20
β -ácidos	3,20 $\pm$ 0,40
Proteínas	19,58 $\pm$ 0,11
Umidade	5,05 $\pm$ 0,11
Lipídios	3,03 $\pm$ 0,20
Cinzas	7,12 $\pm$ 0,09

Valores médios $\pm$ desvio padrão (n = 3).

As resinas macias são representadas pela mistura dos α -ácidos e β -ácidos, enquanto as resinas duras pelo xanthohumol. Pode-se observar que o lúpulo residual do processo de dry hopping mantém as quantidades dos compostos originais praticamente inalteradas, com grande potencial para ser explorado e reutilizado.

A Figura 7 apresenta a amostra de resíduo de lúpulo coletado após o processo de dry hopping, tratado e seco para ser reutilizado na fabricação de cerveja. A amostra apresentou teor de umidade de 5,0 $\pm$ 0,1% (b.u) e diâmetro médio de partícula de 0,69 mm $\pm$ 0,06, teor de α -ácidos de 5,4 $\pm$ 0,2 % e β - ácidos de 3,2 $\pm$ 0,4 %.

Figura 7 - Resíduo de lúpulo seco.



Fonte: Produção do autor.

A Tabela 2 apresenta a comparação da cerveja obtida a partir de lúpulo residual seco com os dados físico-químicos de referência para o mesmo estilo de cerveja American IPA (BJCP, 2021).

Tabela 2 - Caracterização da cerveja com resíduo de lúpulo e padrão de referência.

Conteúdo	Cerveja American IPA com lúpulo residual*	Cerveja American IPA**
Lúpulo seco em pó (% em peso)	30,20 ± 0,01	
Álcool (% v/v)	4,38 ± 0,05	5,50 - 7,50
Extrato real (% m/m)	3,35 ± 0,01	
Extrato aparente (% m/m)	1,75 ± 0,10	
Extrato primitivo (% Plato)	10,09 ± 0,07	13,80 - 17,10
Calorias (kJ/100 mL)	150,82 ± 1,20	
pH	4,57 ± 0,05	
Cor (EBC)	20,70 ± 0,50	11,82 - 27,58
Amargor (IBU)	65 ± 2	40 - 70
Turvação 24h 0 °C EBC - leitura a 90°	6,89 ± 0,02	
Classificação BJCP	IPA	IPA

*Valores médios ± desvio padrão (n =3). **Dados de referência para o mesmo estilo de cerveja American IPA (BJCP, 2021).

DISCUSSÃO

O resíduo de lúpulo avaliado apresentou-se como uma matriz promissora para fabricação de cervejas de estilo mais amargo, caracterizado por um teor considerável de α -ácidos ($5,4 \pm 0,1\%$) e β -ácidos ($3,2 \pm 0,4\%$) e composição química similar ao lúpulo fresco (Durello *et al.* 2019). Além disso, o material seco apresentou umidade média de $5,0 \pm 0,1\%$ (b.u) e diâmetro médio de partícula de $0,69 \text{ mm} \pm 0,06$, características que influenciaram diretamente na estabilidade do produto e a transferência de massa nos processos de fervura da cerveja.

O resíduo de lúpulo desidratado em pó foi utilizado para a produção de cerveja estilo IPA, representando cerca de 30,2 % do total de lúpulo de amargor adicionado durante a etapa de fervura. Ao empregar o resíduo de lúpulo na etapa de fervura do processo cervejeiro, representando foi alcançado o resultado satisfatório nas análises físico-químicas permitindo classificar a cerveja como IPA, alcançando Álcool de 4,38 % v/v, Extrato Real de 3,35 % w/w, Extrato Aparente de 1,75 % m/m, Extrato Primitivo - % Plato de 10,09 % m/m, Calorias de 36 kcal/100mL, pH de 4,57, cor de 20,70 EBC, amargor de 65 IBU e Turvação 24h 0°C EBC - leitura a 90° de 6,89.

Considerando que o lúpulo é um dos insumos mais caros no processo de fabricação de cerveja e que a adição de lúpulo no dry hopping impacta os custos do processo, além de gerar uma quantidade considerável de resíduos, os quais ainda contém compostos que podem ser reutilizados na fabricação de cerveja, estudos recentes estão investigando a segunda via de utilização do lúpulo residual do dry hopping na fabricação de cervejas.

Alfeo *et al.* (2023) destacou que o uso de lúpulo residual na produção de mosto em escala piloto não apresentou diferenças significativas na taxa de isomerização de α -ácidos (25,20%) em comparação com o lúpulo fresco (24,84%), e a avaliação sensorial destacou a semelhança entre as amostras, possivelmente porque a quantidade de mirceno e álcoois terpênicos estava acima do limiar de percepção em ambas as cervejas, com lúpulo fresco e com lúpulo residual do dry hopping. No entanto, as cervejas de 30 IBU produzidas no experimento com lúpulo fresco e com lúpulo residual mostraram diferenças no conteúdo de polifenóis (260 e 229 mg/l para lúpulo fresco e lúpulo residual, respectivamente). Os resultados reportados por Alfeo *et al.* (2023) indicam claramente a

adequação do lúpulo residual para fins de aproveitamento no processo cervejeiro e oferecem indicações importantes aos cervejeiros sobre a valorização desse subproduto. Nesse sentido, pesquisas futuras são necessárias para aprofundar o impacto da taxa de dry hopping nas características do lúpulo usado residual, e para investigar a valorização do lúpulo residual não apenas para amargor, mas também para fins de sabor.

Gasiński *et al.* (2022) analisou a cerveja lupulada com pellets de lúpulo previamente usados para dry hopping de outra cerveja. Os lúpulos usados no dry hopping foram despejados em um funil de laboratório com filtro de papel e enxaguados com água destilada estéril, e posteriormente foram congelados e armazenados a -18 °C. Neste estudo, foram produzidos diversos lotes de cerveja usando lúpulo reutilizado com dosagens variadas do respectivo material e havia uma cerveja modelo (lupulada com lúpulo novo) para fins de comparação. As cervejas produzidas com lúpulo reutilizado apresentaram valores de amargor em IBU mais baixos e menores concentrações de compostos voláteis derivados do lúpulo (como aromadendreno, α -terpineol, metil-geranato e α -cariofileno) do que a cerveja modelo (lupulada com lúpulo novo), mas mantiveram o nível de atividades antioxidantes (avaliadas pelos ensaios ABTS $\cdot$ +, DPPH $\cdot$ e FRAP); na análise sensorial as cervejas com lúpulo reutilizado adquiriram notas mais altas para o parâmetro sabor. Gasiński *et al.* (2022) afirma que pode haver maneiras de reinserir lúpulo previamente usado no dry hopping de volta na produção de cerveja. A análise de Gasiński *et al.* (2022) mostra que mesmo ao substituir 100% do lúpulo fresco por lúpulo reutilizado não ocorreu redução significativa na concentração de voláteis totais na cerveja e ainda permitiu a transferência de até 70% dos iso- α -ácidos para o mosto.

Hauser *et al.* (2019) constatou mediante análises sensoriais que as cervejas adicionadas de lúpulo residual de dry hopping eram significativamente diferentes por meio de um teste tetraédrico (método sensorial discriminativo); os testes de análise sensorial com consumidores quanto à percepção geral e à apreciação do aroma e amargor das cervejas não mostraram diferenças significativas em nenhuma das comparações par a par das quatro cervejas. No entanto, mais pesquisas são necessárias a fim de estudar sobre a estabilidade durante o

armazenamento de lúpulos secos reutilizados ou possíveis métodos de conservação desta matéria-prima.

Mejia-Llontop *et al.* (2024) desenvolveu uma pesquisa onde reutilizou quatro variedades de resíduos de lúpulo (Citra, Mosaic, Hallertau Blanc e Mandarin Bavaria), transformando-os novamente em pellets após serem utilizados no dry hopping. O objetivo do autor foi de integrá-los em um novo processo de fabricação de cerveja artesanal. No experimento, as amostras de lúpulos residuais de dry hopping foram coletados do cone do tanque fermentador usando uma vidraria estéril e uma tela de filtro foi usada para separar a cerveja dos resíduos de lúpulo, prensando manualmente para expelir o máximo de líquido possível, deixando uma massa de lúpulo. O autor secou a massa de lúpulo à temperatura ambiente e para obter novos pellets, manteve a padronização de um teor de umidade de 12% e alimentou uma máquina peletizadora com a massa de lúpulo residual. Em sua pesquisa, Mejia-Llontop *et al.* (2024) analisou nos lúpulos umidade, cinza, teor de proteína, teor de gordura e carboidratos, além do teor de α e β -ácidos, componentes fenólicos, capacidade antioxidante, e nas cervejas amargor e análise sensorial. Os resultados do estudo de Mejia-Llontop *et al.* (2024) demonstram que os resíduos de dry hopping obtidos da cervejaria artesanal podem ser reutilizados no processo cervejeiro. O autor constatou que os teores de compostos fenólicos, a capacidade antioxidante e os teores de α e β ácidos foram significativamente reduzidos ($p < 0,05$) nas lupulagens residuais em comparação com as lupulagens iniciais. Todavia, o uso dos lúpulos residuais de dry hopping para a produção de cerveja demonstrou aceitabilidade sensorial significativa, chegando a superar a cerveja produzida com os lúpulos iniciais nos resultados de análise sensorial, e as cervejas produzidas com resíduos de lúpulos Mandarin Bavaria, Citra e Mosaic demonstraram ter grande potencial de adaptação e utilização na indústria cervejeira. Mejia-Llontop *et al.* (2024) recomendou estudos adicionais a fim de identificar perfis sensoriais específicos com painéis de avaliadores treinados.

Em suma, estudos recentes trazem resultados que demonstram que a utilização do lúpulo residual do dry hopping é uma estratégia eficaz para a redução do desperdício de matéria-prima sem comprometer a identidade sensorial e

química da cerveja, e uma alternativa para o reaproveitamento de subprodutos que, outrora, são descartados como resíduos sólidos.

CONCLUSÃO

Diante dos resultados expostos, conclui-se que o aproveitamento do lúpulo residual de dry hopping no processo de fabricação de cerveja é uma estratégia promissora dentro dos princípios da Economia Circular na indústria cervejeira. A caracterização do resíduo de lúpulo ainda retém compostos químicos valiosos que podem ser reintegrados ao ciclo produtivo. E somado com os demais estudos sobre o tema, fortalece a busca por processos e técnicas mais sustentáveis na indústria cervejeira.

A metodologia de secagem por sistema de bomba de calor à 50 °C manteve preservados os α -ácidos e β -ácidos no lúpulo recuperado, garantindo uma umidade residual baixa sem degradar termicamente os componentes resinosos essenciais para o amargor. A utilização deste resíduo desidratado em pó, representando 30,2% do total de lúpulo de amargor adicionado na fervura, resultou em uma cerveja com 65 IBU, o que comprova a eficácia da extração de ácidos amargos remanescentes na matéria-prima residual.

Os resultados das análises físico-químicas permitiram a classificação da bebida como uma India Pale Ale (IPA), atendendo aos parâmetros de álcool (4,38% v/v), cor e amargor exigidos pelo BJCP 2021. Este fato valida que a substituição parcial de lúpulo fresco por residual não compromete a identidade técnica do estilo, reforçando o conceito de eco-efetividade, onde o descarte é substituído pela recuperação integral de valor.

Do ponto de vista da sustentabilidade, a pesquisa materializa ações diretas em prol dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 9 e 12 da Agenda 2030, promovendo a inovação industrial e o consumo responsável. Ao transformar um excedente do processo cervejeiro em um insumo que poderá ser destinado à indústria cervejeira, reduz sua dependência de recursos naturais virgens e minimiza os impactos ambientais associados a extração de recursos e ao processo produtivo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Escola de Química e Alimentos da Universidade Federal do Rio Grande, ao Firjan Senai e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro.

REFERÊNCIAS

- ALFEO, V. *et al.* A sustainable valorisation of spent hops from dry hopping. **LWT – Food Science and Technology**, v. 186, 2023.
- ASBC Methods of Analysis, online. Hops Method 4. **American Society of Brewing Chemists**, St. Paul, MN, U.S.A. 2008.
- BRAVI, E. *et al.* Brewing by-product upcycling potential: Nutritionally valuable compounds and antioxidant activity evaluation. **Antioxidants**, v. 10, n. 165, 2020.
- BEER JUDGE CERTIFICATION PROGRAM - BJCP. Beer style guide. 2021. Disponível em: <<https://www.bjcp.org/bjcp-style-guidelines/>>. Acesso em: 13 jun. 2025.
- CEOLA, Duan *et al.* Headspace-solid phase microextraction and GC-MS followed by multivariate data analysis to study the effect of hop processing type and dry hopping time on the aromatic profile of top-fermented beers. **Separation Science Plus**, v. 2, n. 7, p. 245-252, 2019.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Economia circular na prática: guia de implementação segundo a série ABNT NBR ISO 59000 / Confederação Nacional da Indústria, Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro, Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. Brasília - CNI, 2024.
- DURELLO, R.S. *et al.* Química do lúpulo. **Química Nova**, v. 42, n. 8, p. 900-919, 2019.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Rumo à Economia Circular: O racional de negócio para acelerar a transição. 2015. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/publicacoes>>. Acesso em: 12 out. 2018.
- GASIŃSKI, A. *et al.* Second life of hops: Analysis of beer hopped with hop pellets previously used to dry-hop a beer. **LWT - Food Science and Technology**, v. 159, 2022.
- GEISSDOERFER M., SAVAGET P., BOCKEN N.M., HULTINK E.J. The Circular Economy–A new sustainability paradigm. *Journal of cleaner production*, v. 143, p. 757-768, 2017.
- GHISELLINI P., CIALANI C., ULGIATI S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, v. 114, p. 11–32, 2016.
- GOMES, F. O. *et al.* Advances in dry hopping for industrial brewing: a review. *Food Science and Technology*, 2022.
- HAUSER, D. G.; STOKHOLM, A.; SHELLHAMMER, T. H. Investigating the potential for re-using spent dry-hops in the brew kettle. **BrewingScience**, v. 72, n. 5/6, p. 125-131, 2019.

KARLOVIĆ, A. *et al.* By-products in the malting and brewing industries-re-usage possibilities. **Fermentation**, 2020.

KEUKELEIRE, D. Fundamentals of beer and hop chemistry. **Química Nova**, v 23, n. 1, p. 108-112, 2000.

LAFONTAINE, Scott R.; SHELLHAMMER, Thomas H. Impact of static dry-hopping rate on the sensory and analytical profiles of beer. *Journal of the Institute of Brewing*, v. 124, n. 4, p. 434-442, 2018.

MEJIA-LLONTOP, C. I. *et al.* Impact of Hop Residue Reuse on the Chemical and Sensory Properties of Craft Beer. **Resources**, v. 14, n. 1, p. 2, 2024.

MUXEL, A. A. Química da cerveja: uma abordagem química e bioquímica das matérias-primas, processo de produção e da composição dos compostos de sabores da cerveja. 1ed. Curitiba: Appris, 2022.

OLIVARES-GALVÁN, S. *et al.* Extraction of valuable compounds from brewing residues: Malt rootlets, spent hops, and spent yeast. **Trends in Food Science and Technology**, 2022.

SILVA, K. F. C. E. *et al.* Processing Strategies for Extraction and Concentration of Bitter Acids and Polyphenols from Brewing By-Products: A Comprehensive Review. **Processes Multidisciplinary Digital Publishing Institute**, 2023.

VALORIZAÇÃO DE COPRODUTOS DO PESCADO EM PRODUTOS DE PANIFICAÇÃO FUNCIONAL: APLICAÇÃO TECNOLÓGICA DO CONCENTRADO PROTEICO DE PEIXE

Norma Suely Evangelista-Barreto

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB)

Eliziane da Silva Almeida

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB)

RESUMO

O aumento da geração de coprodutos do processamento de pescado tem impulsionado pesquisas voltadas ao seu aproveitamento sustentável na formulação de alimentos de maior valor agregado. Nesse contexto, o concentrado proteico de peixe (CPP) destaca-se pelo elevado valor nutricional, alta digestibilidade e presença de aminoácidos essenciais. Esta revisão discutiu o potencial nutricional, tecnológico e funcional do CPP em produtos de panificação, especialmente cookies funcionais, bem como sua associação com ingredientes bioativos, como farinha de banana verde, autolisado de levedura, quitosana e frutooligossacarídeos. Os estudos analisados demonstram que a incorporação de CPP promove aumento do teor proteico, melhoria do perfil mineral e agregação de compostos funcionais aos produtos. Entretanto, desafios relacionados à textura, sabor residual, estabilidade oxidativa e aceitabilidade sensorial ainda limitam sua aplicação em maiores proporções. Assim, o aproveitamento de coprodutos do pescado representa alternativa promissora para o desenvolvimento de alimentos funcionais sustentáveis e alinhados aos princípios da economia circular.

Palavras-chave: Alimentos funcionais; cookies; farinha de banana verde; quitosana; frutooligossacarídeos.

INTRODUÇÃO

O crescimento da indústria mundial de processamento de pescado tem sido acompanhado pela elevada geração de resíduos, representando importante desafio ambiental, econômico e tecnológico para a cadeia produtiva aquícola e pesqueira. Estima-se que entre 30% e 70% da biomassa processada seja descartada durante as etapas de filetagem e beneficiamento (FAO, 2020; Caruso *et al.*, 2020). Tradicionalmente considerados materiais de baixo valor comercial, esses resíduos apresentam elevado potencial de aproveitamento devido à sua composição rica em proteínas, lipídios, minerais e compostos bioativos.

Nos últimos anos, a valorização de coprodutos do pescado tem ganhado destaque dentro dos princípios da economia circular e da sustentabilidade aplicada à indústria de alimentos. A obtenção de ingredientes de maior valor agregado, como hidrolisados proteicos, farinha de peixe e concentrado proteico de peixe (CPP), surge como estratégica promissora para reduzir impactos ambientais e ampliar o aproveitamento da matéria-prima (Ghalamara *et al.*, 2024).

O CPP se destaca pelo alto teor proteico, elevada digestibilidade e excelente perfil de aminoácidos essenciais, além de propriedades tecnológicas, como retenção de água, emulsificação e capacidade de formação estrutural (Muslimin; Syahrul; Metusalach, 2022). Essas características favorecem sua aplicação em diferentes matrizes alimentares, especialmente em produtos de panificação, devido à ampla aceitação comercial e versatilidade tecnológica desses produtos.

Paralelamente, observa-se crescente demanda por alimentos mais saudáveis, funcionais e sustentáveis, impulsionando o desenvolvimento de produtos enriquecidos com ingredientes bioativos e farinhas alternativas (Khoozani; Rebede; Bekhit, 2022). Nesse cenário, os cookies se destacam como matriz promissora para incorporação de ingredientes funcionais, devido à facilidade de processamento, longa vida útil, elevada aceitação sensorial e flexibilidade de formulação (Melo; Ribeiro, 2021).

Além do CPP, compostos bioativos como farinha de banana verde, quitosana, autolisado de levedura e frutooligossacarídeos (FOS) vêm sendo associados ao desenvolvimento de produtos de panificação com melhor perfil nutricional. Esses ingredientes podem contribuir para o aumento do teor de proteínas e fibras,

modulação da microbiota intestinal, redução do índice glicêmico e melhoria das propriedades tecnológicas e sensoriais dos alimentos (Oliveira *et al.*, 2020; Rahim *et al.*, 2021; Zhou *et al.*, 2021).

Dessa forma, o aproveitamento de coprodutos do pescado na formulação de cookies funcionais representa abordagem inovadora capaz de integrar sustentabilidade, segurança alimentar e agregação de valor à cadeia produtiva pesqueira. Assim, esta revisão buscou discutir os aspectos nutricionais, tecnológicos e funcionais relacionados ao uso do CPP e de ingredientes bioativos no desenvolvimento de produtos de panificação funcional.

SUSTENTABILIDADE E VALORIZAÇÃO DE COPRODUTOS DO PESCADO

A expansão da aquicultura e da indústria de processamento de pescado tem contribuído significativamente para o aumento da geração de resíduos orgânicos em escala mundial. Estima-se que aproximadamente 60% da produção global de pescado seja submetida a algum tipo de beneficiamento industrial, resultando na geração de cabeças, espinhas, vísceras, pele e aparas musculares, que podem representar entre 30 e 70% do peso total do peixe, dependendo da espécie e do tipo de processamento empregado (FAO, 2020).

Historicamente, esses resíduos foram considerados materiais de baixo valor econômico, sendo frequentemente destinados à produção de farinha e óleo de peixe para alimentação animal ou descartados inadequadamente no ambiente. O descarte incorreto desses resíduos representa importante problema ambiental, contribuindo para aumento da carga orgânica em corpos hídricos, proliferação microbiana e emissão de odores, comprometendo a qualidade ambiental dos ecossistemas aquáticos (Ghaly *et al.*, 2013). Além dos impactos ambientais, o desperdício dessas frações resulta em perda significativa de compostos de elevado valor biológico, incluindo proteínas, peptídeos bioativos, ácidos graxos poli-insaturados, colágeno e minerais (Ghalamara *et al.*, 2024).

Nesse contexto, a valorização de coprodutos do pescado emerge como estratégia alinhada aos princípios da economia circular e da bioeconomia, favorecendo o aproveitamento integral da matéria-prima e a redução dos impactos

ambientais associados à cadeia produtiva pesqueira e aquícola. A economia circular aplicada ao setor alimentício propõe a reinserção desses materiais em novos ciclos produtivos, convertendo resíduos anteriormente descartados em ingredientes de maior valor agregado e potencial tecnológico (Mozumber *et al.*, 2022).

Nos últimos anos, o interesse científico e industrial pelo aproveitamento desses coprodutos aumentou consideravelmente, especialmente em razão da crescente demanda por ingredientes sustentáveis e fontes alternativas de proteína. Estudos demonstraram que resíduos de pescado podem ser utilizados na obtenção de ingredientes funcionais e nutracêuticos, incluindo hidrolisados proteicos, colágeno, gelatina, quitosana, óleos ricos em ômega-3 e concentrado proteico de peixe (CPP) (Caruso *et al.*, 2020). Esses compostos apresentam aplicações nas indústrias alimentícia, farmacêutica, cosmética e biomédica.

Além das aplicações industriais, os coprodutos do pescado apresentam elevado potencial para incorporação direta em alimentos destinados ao consumo humano. Carcaças, aparas musculares e resíduos da filetagem podem ser utilizados na formulação de hambúrgueres, embutidos, sopas, *snacks*, produtos empanados, surimi e produtos de panificação enriquecidos nutricionalmente (FAO, 2020). Essa estratégia contribui para redução do desperdício alimentar, aumento da oferta de proteínas de alto valor biológico e desenvolvimento de alimentos mais sustentáveis.

No setor de panificação funcional, o aproveitamento de coprodutos do pescado tem recebido atenção crescente, especialmente devido a possibilidade de enriquecimento proteico de produtos amplamente consumidos, como os biscoitos. A incorporação de ingredientes obtidos a partir desses coprodutos possibilita a elaboração de alimentos com melhor perfil nutricional e maior teor proteico, agregando interesse tecnológico e comercial à cadeia produtiva pesqueira (Rebouças *et al.*, 2012; Muricy; Evangelista-Barreto, 2022).

Além dos benefícios nutricionais e ambientais, a valorização de coprodutos do pescado insere-se no contexto da transição para sistemas alimentares mais sustentáveis e circulares, impulsionada pela crescente demanda por alimentos ambientalmente responsáveis, ingredientes funcionais e proteínas alternativas de menor impacto ecológico (Rigueto *et al.*, 2023).

Dessa forma, o aproveitamento de coprodutos do pescado representa abordagem relevante para redução de impactos ambientais e desperdícios industriais, além de favorecer o desenvolvimento de ingredientes funcionais e alimentos de maior valor agregado, contribuindo para a sustentabilidade, segurança alimentar e inovação no setor de alimentos.

POTENCIAL NUTRICIONAL E TECNOLÓGICO DO CONCENTRADO PROTEICO DE PEIXE

O concentrado proteico de peixe (CPP) se destaca como um dos principais produtos obtidos a partir do aproveitamento de coprodutos do pescado, devido à sua composição nutricional e funcionalidade tecnológica na indústria de alimentos. Esse ingrediente pode ser produzido tanto a partir da carne do pescado quanto de resíduos provenientes da filetagem e do processamento industrial, incluindo aparas musculares, carcaças, pele, espinhas e outros tecidos ricos em proteína (Rebouças *et al.*, 2012; Bastos *et al.*, 2014).

O CPP é obtido por meio de processos tecnológicos que promovem a concentração da fração proteica, principalmente pela remoção parcial de água e lipídeos, resultando em ingrediente com teor proteico significativamente superior ao pescado in natura. Dependendo da matéria-prima utilizada e do método de processamento empregado, o CPP pode apresentar concentrações proteicas superiores a 60%, além de alta digestibilidade e excelente perfil de aminoácidos essenciais (Muslimin; Syahrul; Metusalach, 2022).

Do ponto de vista nutricional, as proteínas do pescado são reconhecidas pelo alto valor biológico, apresentando aminoácidos essenciais em proporções adequadas às necessidades fisiológicas humanas, com destaque para lisina, metionina e cisteína (Klychko *et al.*, 2022). Além disso, a digestibilidade dessas proteínas frequentemente ultrapassa 90%, sendo comparáveis às proteínas animais tradicionalmente utilizadas na alimentação humana e superior à observada em diversas fontes vegetais (Rebelatto *et al.*, 2022; Noreen *et al.*, 2025).

Outro aspecto relevante do CPP se refere ao seu perfil lipídico. Embora o processo de concentração proteica reduza parte da fração gordurosa, o ingrediente ainda pode conter quantidades significativas de ácidos graxos poli-insaturados,

especialmente os da família ômega-3, como ácido eicosapentaenoico (EPA) e ácido docosahexaenoico (DHA). Esses compostos estão associados a benefícios cardiovasculares, neuroprotetores e anti-inflamatórios, ampliando o interesse funcional do CPP em alimentos enriquecidos (Noreen *et al.*, 2025).

Além das proteínas e lipídeos bioativos, coprodutos ricos em estruturas ósseas apresentam elevada concentração mineral, especialmente cálcio e fósforo, ampliando o potencial nutricional do CPP obtido a partir dessas frações do pescado (Klyuchko *et al.*, 2022). Essa composição reforça sua aplicação em formulações alimentícias voltadas ao enriquecimento nutricional e ao desenvolvimento de alimentos funcionais.

Sob o ponto de vista tecnológico, o CPP apresenta funções importantes em produtos processados, destacando-se a capacidade de retenção de água, emulsificação, formação de gel, viscosidade e estabilização de emulsões, fatores que influenciam diretamente textura, maciez, estrutura e estabilidade dos alimentos (Surasani *et al.*, 2026). Essas propriedades tornam o CPP particularmente atrativo para aplicação em produtos cárneos reestruturados, massas alimentícias e produtos de panificação.

No setor de panificação, a utilização do CPP tem despertado interesse crescente devido à possibilidade de enriquecimento proteico sem necessidade de mudanças drásticas no processo produtivo. Estudos demonstraram que sua incorporação em cookies, biscoitos, massas e pães promove aumento significativo do teor de proteínas e minerais, além de favorecer o perfil nutricional dos produtos finais (Rebouças *et al.*, 2012; Klyuchko *et al.*, 2022). Em biscoitos enriquecidos com CPP, observa-se frequentemente redução proporcional do teor de carboidratos disponíveis e aumento da densidade nutricional do alimento (Santos; Silva; Silva, 2025).

Entretanto, apesar das vantagens nutricionais e tecnológicas, a aplicação do CPP em alimentos ainda apresenta desafios importantes. Entre as principais limitações destacam-se odor e sabor residual característicos do pescado, alterações de cor, possibilidade de oxidação lipídica e mudanças na textura dos produtos quando utilizados em elevadas concentrações (Cassol *et al.*, 2024). Esses fatores podem comprometer a aceitabilidade sensorial e limitar os níveis de inclusão do ingrediente em determinadas formulações.

Assim, diferentes estratégias tecnológicas vêm sendo investigadas para minimizar essas limitações, incluindo hidrólise enzimática, microencapsulação, fermentação e técnicas de mascaramento de sabor. Embora essas abordagens tenham demonstrado resultados promissores em condições controladas, ainda são necessárias otimizações que garantam sua viabilidade econômica, escalabilidade industrial e manutenção da qualidade sensorial dos produtos (Surasani *et al.*, 2026).

Dessa forma, o concentrado proteico de peixe representa um ingrediente promissor para o desenvolvimento de alimentos funcionais e sustentáveis, reunindo qualidade nutricional, funcionalidade tecnológica e agregação de valor aos coprodutos da indústria pesqueira. Sua aplicação em produtos de panificação evidencia abordagem relevante para atender simultaneamente às demandas por sustentabilidade, fortificação proteica e melhoria do perfil nutricional dos alimentos.

PRODUTOS DE PANIFICAÇÃO COMO MATRIZ PARA ALIMENTOS FUNCIONAIS

Os produtos de panificação ocupam posição de destaque na alimentação humana devido à aceitação sensorial, praticidade de consumo, ampla disponibilidade comercial e custo relativamente acessível. Entre esses produtos, se destacam os pães, bolos, biscoitos, massas e cookies, consumidos diariamente por diferentes faixas etárias e grupos populacionais em diversas regiões do mundo (ABIP, 2022). Em razão dessa elevada frequência de consumo, os produtos de panificação vêm sendo amplamente explorados como veículos estratégicos para incorporação de ingredientes funcionais e compostos bioativos.

De acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), produtos de panificação compreendem alimentos obtidos a partir do preparo e cocção de massas elaboradas com farinhas, amidos e féculas, fermentadas ou não (Brasil, 2005). Em geral, esses produtos apresentam formulações ricas em carboidratos refinados, açúcares e lipídeos, além de baixos teores de fibras, proteínas de alta qualidade e compostos bioativos, aspecto que tem impulsionado o desenvolvimento de alternativas com melhor perfil nutricional (Mukwevho; Emmambux, 2024).

Nas últimas décadas, mudanças no perfil de consumo alimentar têm impulsionado a demanda por alimentos funcionais, especialmente entre consumidores mais preocupados com a saúde, prevenção de doenças crônicas e qualidade nutricional da dieta. Nesse cenário, os produtos de panificação passaram a receber destaque como veículos para fortificação nutricional, devido à flexibilidade tecnológica e à capacidade de incorporar ingredientes bioativos sem comprometer significativamente a aceitação sensorial (Khoozani; Rebede; Bekhit, 2022).

Os alimentos funcionais são definidos como aqueles que, além de fornecerem nutrientes básicos, promovem benefícios fisiológicos adicionais ao organismo, contribuindo para melhoria da saúde e redução do risco de doenças (Ballini *et al.*, 2023). No setor de panificação, isso tem estimulado a incorporação de fibras alimentares, prebióticos, proteínas alternativas, compostos antioxidantes, vitaminas, minerais e ingredientes bioativos em formulações com baixo valor funcional (Granato; Nunes; Barba, 2017).

Entre os produtos de panificação, os biscoitos tipo cookie se destacam como importantes matrizes para desenvolvimento de alimentos funcionais. Os cookies apresentam características tecnológicas favoráveis, incluindo facilidade de processamento, longa vida útil, elevada estabilidade microbiológica e boa aceitação entre consumidores de diferentes faixas etárias (Klyuchko *et al.*, 2022). Além disso, sua formulação permite versatilidade na substituição parcial ou total de ingredientes convencionais, possibilitando a incorporação de farinhas alternativas e compostos bioativos.

Estudos demonstraram a viabilidade da fortificação de cookies com ingredientes funcionais visando ao aumento do teor proteico, fibras alimentares, compostos antioxidantes e minerais. Entre os ingredientes utilizados se destacam a farinha de banana verde (Oliveira *et al.*, 2020a), farinha de alfarroba (Erdogan; Ozkata; Konak Alkis, 2025), farinha de casca de manga (Carmo; Almeida, Holanda, 2017), farinha de amaranto e farinha de baru (Vieira *et al.*, 2020), (Ferreira *et al.*, 2020), e farinha de berinjela e quiabo (Oliveira *et al.*, 2020b). De modo geral, essas formulações apresentam melhoria do perfil nutricional quando comparadas aos produtos elaborados exclusivamente com farinha de trigo refinada.

Nesse contexto, a utilização do CPP em produtos de panificação representa alternativa relevante para enriquecimento proteico e valorização de coprodutos

do pescado. A incorporação do CPP em cookies possibilita aumento do teor de proteínas de alto valor biológico e minerais, além de contribuir para o desenvolvimento de alimentos alinhados às tendências de sustentabilidade e economia circular (Rebouças *et al.*, 2012; Muricy; Evangelista-Barreto, 2022).

Além do enriquecimento nutricional, a aplicação de ingredientes funcionais em produtos de panificação está relacionada ao desenvolvimento de alimentos destinados ao desenvolvimento de alimentos destinados a públicos específicos, como consumidores celíacos, intolerantes ao glúten e indivíduos que buscam produtos com menor índice glicêmico e maior teor de fibras. Dessa forma, o uso de farinhas alternativas e ingredientes bioativos em cookies e outros produtos de panificação tem favorecido o crescimento do mercado de alimentos “clean label”, funcionais e livres de glúten (Martínez *et al.*, 2021).

A Tabela 1 apresenta exemplos de ingredientes funcionais aplicados em produtos de panificação e seus principais efeitos nutricionais, tecnológicos e sensoriais descritos na literatura.

Tabela 1 - Aplicação de ingredientes funcionais em cookies e produtos de panificação.

Ingredientes	Produto	Principais efeitos	Referências
Farinha de banana verde	Cookie	Boa aceitação sensorial	Oliveira <i>et al.</i> (2020a)
Farelo de arroz e farinha de soja	Bolo sem glúten	Redução da dureza	Mariani <i>et al.</i> (2015)
Moringa e palma	Cookie	Aumento do teor proteico e mineral	Silva <i>et al.</i> (2025)
Farinha do bagaço de malte e levedura residual	Cupcake	Aumento do teor de fibras e proteínas e aceitação sensorial	Rech e Zorzan (2017)
CPP, farinha de chia e farinha de semente de abóbora	Pão	Boa aceitação sensorial	Reis, Bispo, Evangelista-Barreto (2021)
CPP e farinha de taioba	Pão de forma	Boa aceitação sensorial	Muricy; Evangelista-Barreto (2022)
CPP, própolis e quitosana	Pão de forma	Aumento do teor proteico e boa aceitação sensorial	Pereira <i>et al.</i> (2026)
Farinha do bagaço de malte	Brownies	Redução de carboidratos e aumento do teor de proteínas, gorduras e fibras	Siqueira (2024)
Farinha de folhas de urtiga	Biscoitos	Aumento do teor proteico e mineral, atividade antioxidante e redução do índice glicêmico	Tanyitiku; Bessem; Petcheu (2024)

Dessa forma, os produtos de panificação, especialmente os biscoitos, se consolidam como importantes matrizes alimentares para aplicação de ingredientes funcionais e proteínas alternativas, favorecendo o desenvolvimento de alimentos inovadores, nutricionalmente enriquecidos e associados às demandas atuais por saúde, sustentabilidade e qualidade alimentar.

INGREDIENTES FUNCIONAIS ASSOCIADOS AO CPP

No desenvolvimento de cookies funcionais enriquecidos com CPP se destacam ingredientes como autolisado de levedura, farinha de banana verde, quitosana e frutooligossacarídeos (FOS), os quais apresentam características capazes de atuar de forma complementar ao CPP. A associação desses compostos favorece não apenas o enriquecimento proteico, mas também o aumento do teor de fibras alimentares, compostos prebióticos, minerais e substâncias com potencial antioxidante e imunomodulador.

Apesar das vantagens nutricionais do CPP, sua aplicação em produtos de panificação pode promover alterações sensoriais e tecnológicas, incluindo sabor residual, mudanças de textura, escurecimento e instabilidade oxidativa (Surasani *et al.*, 2026). Nesse contexto, a associação do CPP com ingredientes funcionais e hidrocoloides representa abordagem relevante para melhorar estabilidade, aceitabilidade sensorial e desempenho tecnológico das formulações.

A Tabela 2 apresenta os ingredientes funcionais associados ao CPP e suas aplicações tecnológicas em produtos de panificação.

A associação entre farinha de banana verde e FOS representa abordagem promissora para ampliação do efeito prebiótico em produtos de panificação, uma vez que ambos favorecem seletivamente o crescimento de bactérias benéficas no trato gastrointestinal. Enquanto a farinha de banana verde apresenta elevado teor de amido resistente, os FOS atuam como substratos fermentáveis de rápida utilização pela microbiota intestinal (Segundo *et al.*, 2019; Rahim *et al.*, 2021).

Tabela 2 - Ingredientes funcionais associados ao CPP e suas funções tecnológicas.

Ingrediente funcional	Principais compostos bioativos	Função tecnológica	Benefício funcional	Referências
Farinha de banana verde	Amido resistente	Retenção de água e textura	Efeito prebiótico e redução do índice glicêmico	Segundo <i>et al.</i> (2019)
Quitosana	Polissacarídeos catiônicos	Estabilidade e ação antimicrobiana	Potencial efeito hipocolesterolêmico e capacidade de interação com lipídios	Onumah <i>et al.</i> (2025)
FOS	Oligossacarídeos prebióticos	Melhora da textura e dulçor	Modulação da microbiota intestinal	Rahim <i>et al.</i> (2021)
Autolisado de levedura	β-glucanos e nucleotídeos	Intensificação do sabor umami	Potencial imunomodulador	Jaeger <i>et al.</i> (2020)

Na farinha de banana verde, o amido resistente atua fisiologicamente de forma semelhante às fibras dietéticas, resistindo à digestão no intestino delgado e sendo fermentado pela microbiota intestinal no cólon, promovendo benefícios metabólicos e intestinais (Fuentes-Zaragoza *et al.*, 2011).

Sob o ponto de vista tecnológico, a farinha de banana verde também contribui para a melhoria da textura, retenção de água e estabilidade estrutural de produtos de panificação. Em cookies enriquecidos com CPP, sua aplicação pode auxiliar na redução da dureza excessiva e no equilíbrio da estrutura da massa, além de agregar fibras alimentares ao produto final (Oliveira *et al.*, 2020a).

Os frutooligossacarídeos (FOS), por sua vez, são carboidratos não digeríveis classificados como prebióticos, capazes de estimular seletivamente o crescimento de bactérias benéficas no trato gastrointestinal, especialmente *Bifidobacterium* spp. (Monteiro *et al.*, 2026). Além da modulação da microbiota, os FOS estão associados ao aumento da absorção de minerais, redução dos níveis séricos de colesterol e melhora do funcionamento intestinal (Sánchez-Martínez *et al.*, 2020). Em razão de sua elevada solubilidade e sabor levemente adocicado, esses compostos apresentam funções tecnológicas em produtos de panificação, podendo atuar como substitutos parciais de sacarose e agentes de melhoria de textura (Thota *et al.*, 2024).

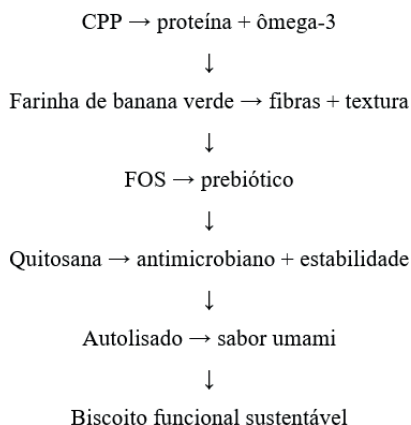
A incorporação de quitosana em formulações contendo CPP pode contribuir para maior estabilidade oxidativa dos lipídeos do pescado, reduzindo reações

de rancidez e prolongando a vida útil dos produtos. Estudos demonstram que a quitosana apresenta atividade antioxidante e capacidade de retardar a oxidação lipídica em sistemas contendo lipídios marinhos e proteínas de pescado (Zhou *et al.*, 2021).

O autolisado de levedura destaca-se como ingrediente promissor em formulações contendo concentrado proteico de pescado (CPP), devido ao seu elevado teor de aminoácidos livres, peptídeos e nucleotídeos, especialmente glutamato, inosinato (IMP) e guanilato (GMP), compostos reconhecidos por sua capacidade de intensificar o sabor umami, aumentar a palatabilidade e contribuir para a atenuação de sabores residuais indesejáveis associados a ingredientes proteicos de origem marinha. Além do mascaramento sensorial, sua composição rica em compostos bioativos e proteínas favorece o enriquecimento nutricional e a melhoria da aceitabilidade dos produtos enriquecidos (Tao *et al.*, 2022).

De maneira geral, a utilização combinada do CPP com ingredientes funcionais possibilita a obtenção de produtos de panificação com propriedades nutricionais e tecnológicas complementares. A Figura 1 ilustra as principais contribuições funcionais e tecnológicas desses ingredientes no desenvolvimento de biscoitos enriquecidos com concentrado proteico de peixe.

Figura 1 - Interação entre CPP e ingredientes funcionais no desenvolvimento de biscoitos funcionais.



A associação entre CPP e ingredientes bioativos representa alternativa relevante para minimizar limitações tecnológicas e sensoriais frequentemente observadas em produtos enriquecidos com proteínas alternativas. Além de melhorar o perfil nutricional, esses ingredientes contribuem para estabilidade, aceitabilidade sensorial e funcionalidade fisiológica, favorecendo o desenvolvimento de produtos de panificação alinhados às demandas atuais por sustentabilidade, saúde e inovação alimentar.

DESAFIOS TECNOLÓGICOS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Apesar dos avanços tecnológicos observados, a incorporação de ingredientes funcionais em produtos de panificação ainda apresenta desafios relacionados à manutenção das propriedades sensoriais e estruturais dos alimentos. Alterações na textura, cor, sabor, volume e crocância podem ocorrer em função da substituição parcial da farinha de trigo e das interações entre proteínas, fibras e outros componentes da formulação (Mancebo; Rodriguez; Gómez, 2016). A Tabela 3 apresenta alguns desafios tecnológicos associados ao CPP e possíveis estratégias funcionais utilizadas para minimizar esses efeitos.

Tabela 3 - Desafios tecnológicos do CPP e possíveis soluções funcionais.

Desafio tecnológico do CPP	Impacto no produto	Estratégia funcional
Odor residual do pescado	Redução da aceitabilidade sensorial	Autolisado de levedura
Oxidação lipídica	Rancidez e perda de estabilidade	Quitosana
Dureza excessiva	Alteração de textura	Farinha de banana verde
Redução da doçura	Menor palatabilidade	Frutooligossacarídeos

Um dos principais desafios associados ao uso do CPP se refere às características sensoriais do pescado, especialmente odor e sabor residual, frequentemente descritos como “fishy flavor”. Essas características podem comprometer a aceitabilidade dos produtos, sobretudo em formulações doces, como biscoitos (Cassol *et al.*, 2024). A intensidade desse efeito está relacionada à espécie utilizada, ao teor lipídico da matéria-prima, às condições de processamento e ao nível de inclusão do CPP na formulação.

Além das questões sensoriais, a presença de ácidos graxos poli-insaturados provenientes do pescado torna o CPP susceptível à oxidação lipídica, promovendo rancidez, alterações de aroma, perda de qualidade nutricional e redução da vida útil dos produtos (Noreen *et al.*, 2025). A oxidação dos lipídeos marinhos constitui importante limitação tecnológica para aplicação de proteínas de pescado em alimentos processados (Tan *et al.*, 2023), especialmente em sistemas submetidos ao aquecimento durante o processamento de panificação.

A substituição parcial da farinha de trigo por CPP também pode promover alterações tecnológicas importantes. Em elevadas concentrações, a incorporação do concentrado proteico interfere na formação da estrutura da massa, modifica a textura, reduz a expansão dos produtos durante o forneamento e altera características como crocância, dureza e coloração final (Scheuer *et al.*, 2011). Essas mudanças decorrem principalmente da redução do teor de glúten e das interações entre proteínas do pescado e componentes amiláceos da formulação (Oprea *et al.*, 2024).

Em produtos isentos de glúten, essas limitações podem ser ainda mais pronunciadas, uma vez que a ausência da rede viscoelástica formada pelo glúten exige o uso de hidrocoloides, fibras e ingredientes estruturantes capazes de manter estabilidade e qualidade tecnológica adequadas (Martínez *et al.*, 2021). Nesse contexto, ingredientes como quitosana, frutooligossacarídeos e farinha de banana verde assumem papel estratégico, auxiliando na retenção de água, estabilidade estrutural e melhoria da textura dos produtos enriquecidos com CPP.

Fatores relacionados à padronização da matéria-prima também constituem importante desafio. A composição química dos coprodutos do pescado pode variar significativamente em função da espécie, idade, alimentação, sazonalidade e método de processamento industrial, influenciando diretamente o teor proteico, perfil lipídico e propriedades funcionais do CPP (Harnedy; Fitzgerald, 2013). Essa variabilidade dificulta a obtenção de ingredientes padronizados e pode comprometer a reprodutibilidade tecnológica das formulações alimentícias.

A aceitação do consumidor em relação ao uso de coprodutos de pescado na alimentação humana também representa desafio importante. Embora exista crescente demanda por alimentos sustentáveis e proteínas alternativas, ainda persistem barreiras relacionadas à percepção sensorial, familiaridade com os

ingredientes e resistência ao consumo de produtos formulados a partir de resíduos agroindustriais (Honrado *et al.*, 2026). Nesse sentido, estratégias de marketing associadas à sustentabilidade, economia circular e benefícios funcionais podem contribuir para ampliar a aceitação desses produtos no mercado consumidor.

Frente a essas limitações, diferentes estratégias tecnológicas têm sido investigadas para ampliar a viabilidade do uso de proteínas de pescado em produtos de panificação. Entre elas destacam-se a utilização de antioxidantes naturais, a microencapsulação de compostos lipídicos e ingredientes bioativos, a incorporação de prebióticos e hidrocoloides para melhoria das propriedades tecnológicas e sensoriais, bem como o emprego de ingredientes capazes de reduzir ou mascarar sabores e odores indesejáveis. Essas abordagens contribuem para aumentar a estabilidade oxidativa, melhorar a aceitabilidade sensorial e ampliar o potencial de aplicação de ingredientes derivados do pescado em alimentos funcionais (Rousta *et al.*, 2021).

Além disso, avanços em tecnologias emergentes, como nanoencapsulação, biopolímeros funcionais, inteligência artificial aplicada à reformulação de alimentos e modelagem preditiva de estabilidade oxidativa, apresentam potencial promissor para otimização de formulações contendo CPP. Essas abordagens podem contribuir para melhoria das propriedades sensoriais, estabilidade físico-química e aceitabilidade dos produtos finais (Sophian, 2026).

As perspectivas para utilização do CPP na indústria alimentícia são favoráveis, especialmente diante do crescimento do mercado de alimentos funcionais, proteínas alternativas e produtos sustentáveis. A valorização de coprodutos do pescado está diretamente alinhada às demandas contemporâneas por sistemas alimentares mais sustentáveis, redução do desperdício e aproveitamento integral dos recursos naturais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aproveitamento de coprodutos do pescado na elaboração de produtos de panificação funcional representa uma alternativa estratégica para integrar sustentabilidade, inovação tecnológica e melhoria do perfil nutricional dos alimentos. Nesse contexto, o concentrado proteico de peixe (CPP) destaca-se

como ingrediente promissor devido ao elevado teor proteico, alta digestibilidade e presença de compostos bioativos de interesse nutricional e funcional. Sua incorporação em produtos de panificação, especialmente em biscoitos, demonstra potencial para promover enriquecimento proteico e agregação de valor aos coprodutos da cadeia produtiva pesqueira, contribuindo simultaneamente para redução do desperdício alimentar e fortalecimento dos princípios da economia circular. Além disso, a associação do CPP com ingredientes funcionais, como farinha de banana verde, quitosana, autolisado de levedura e frutooligosacarídeos, amplia as possibilidades de desenvolvimento de alimentos com propriedades prebióticas, antioxidantes, antimicrobianas e tecnológicas diferenciadas, atendendo às demandas contemporâneas por produtos mais saudáveis, sustentáveis e funcionais.

Entretanto, apesar dos avanços observados, ainda persistem desafios relacionados à estabilidade oxidativa, alterações sensoriais, textura, padronização tecnológica e aceitabilidade dos produtos enriquecidos com CPP. Dessa forma, torna-se fundamental o desenvolvimento de novas estratégias tecnológicas capazes de minimizar limitações associadas ao uso de proteínas de pescado em produtos de panificação, incluindo a aplicação de antioxidantes naturais, hidrocoloides, tecnologias de encapsulação e ingredientes que favoreçam a estabilidade e a palatabilidade das formulações. Além disso, estudos futuros devem priorizar avaliações relacionadas à biodisponibilidade dos compostos bioativos, estabilidade durante o armazenamento, comportamento reológico das massas, segurança microbiológica e percepção do consumidor, aspectos essenciais para consolidação comercial desses produtos.

REFERÊNCIAS

ABIP-Associação Brasileira da Indústria de Panificação e Confeitaria. **Desempenho das panificadoras e confeitarias brasileiras em 2021**. Instituto Tecnológico de Panificação e Confeitaria: ITPC, 2022.

BALLINI, A. About Functional Foods: The Probiotics and Prebiotics State of Art. **Antibiotics**, v. 12, n. 4, p. 635, 2023. Doi: <https://doi.org/10.3390/antibiotics12040635>.

BASTOS, S. C. *et al.* Fish filleting residues for enrichment of wheat bread: chemical and sensory characteristics. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 9, p. 2240-2245, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1258-1>.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005. Aprova o Regulamento Técnico para Produtos de Cereais, Amidos, Farinhas e Farelos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 23 set. 2005.

CARMO, A. S.; ALMEIDA, J. M.; HOLANDA, H. D. Sensory evaluation of cookies type biscuits using mango tomy atkins casserk (*Mangifera indica* L.). **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v. 7, n. 2, p. 288-293, 2017..

CARUSO, G. *et al.* Fishery wastes as a yet undiscovered treasure from the sea: Biomolecules sources, extraction methods and valorization. **Marine Drugs**, v. 18, n. 12, p. 622, 2020. Doi: <https://doi.org/10.3390/md18120622>.

CASSOL, G. Z. *et al.* Influence of delipidification on protein concentrate extracted from fish by-products: technical process, nutritional value, and amino acid bioaccessibility. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, p. 1-16, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1080/10498850.2024.2305966>.

ERDOGAN, A. B.; OZKAYA, B.; KONAK ALKIS, U. I. Carob flour as a sugar and fat replacer in cookies: Physical, chemical, textural, and sensory properties. **Food and Health**, v. 12, n. 1, p. 46-58, 2026.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The state of world fisheries and aquaculture 2020: Sustainability in action**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, p. 1-244, 2020. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>.

FERREIRA, T. H. B. *et al.* Elaboration of biscuits type cookies with pre-treated baru (*Dipteryx alata* Vog.) pulp flour. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 14, n. 6, p. 3156-3162, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00557-3>.

FUENTES-ZARAGOZA, E. *et al.* Resistant starch as prebiotic: A review. **Starch/Stärke**, v. 63, p. 406-415, 2011. Doi: 10.1002/star.201000099.

GHALAMARA, S. *et al.* Valorization of fish processing by-products: biological and functional properties of bioactive peptide. **Current Food Science and Technonogy Reports**, v. 2, p. 393-409, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1007/s43555-024-00045-5>.

GHALY, A. E. *et al.* Fish processing wastes as a potential source of proteins, amino acids and oils: A critical review. **Journal of Microbial & Biochemical Technology**, v. 5, p. 107-129, 2013. Doi:10.4172/1948-5948.1000110.

GRANATO, D.; NUNES, D. S.; BARBA, F. J. An integrated strategy between food chemistry, biology, nutrition, pharmacology, and statistics in the development of functional foods: A proposal. **Trends in Food Science & Technology**, v. 62, p. 13-22, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.12.010>.

HARNEDY, P. A.; FITZGERALD, R. J. Bioactive proteins and peptides from macroalgae, fish, shellfish and marine processing waste. *In*: Kim, S.-K (Ed.). **Marine proteins and peptides: Biological activities and applications**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2013. p. 5-39. Doi: <https://doi.org/10.1002/9781118375082.ch2>.

HONRADO, A. *et al.* Production and use of fish by-product protein hydrolysates in breadmaking: effects on bread's nutritional, sensory and physicochemical characteristics. **Food and Bioprocess Technology**, v. 19, p. 116, 2026. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11947-025-04186-w>.

JAEGER, A. *et al.* Brewer's spent yeast (BSY), an underutilized brewing by-product. **Fermentation**, v. 6, n. 4, p. 123, 2020. Doi: <https://doi.org/10.3390/fermentation6040123>.

KHOZANI, A. A.; KEBEDE, B.; BEKHIT, A. E. A. The effects of green banana flour fortification on volatiles compounds of bread: A fingerprinting approach. **Applied Food Research**, v. 2, n. 2, p. 100202, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100202>.

KLYUCHKO, N. Y. *et al.* Using fish protein in innovative technologies of bakery and flour confectionery products. **Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry**, n. 3, 2022. Doi: <https://vestnik.astu.org/en/nauka/article/53160/view>.

MANCEBO, C. M.; RODRIGUEZ, P.; GÓMEZ, M. Assessing rice flour-starch-protein mixtures to produce gluten free sugar-snap cookies. **LWT - Food Science and Technology**, v. 67, p. 127-132, 2016. Doi: [10.1016/j.lwt.2015.11.045](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.045).

MARIANI, M. *et al.* Elaboration and evaluation of gluten-free cookies made with rice bran and rice and soy flours. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 1, p. 70-78, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.6514>.

MARTÍNEZ, E. *et al.* Elaboration of gluten-free cookies with defatted seed flours: effects on technological, nutritional, and consumer aspects. **Foods**, v. 10, n. 6, p. 1213, 2021. Doi: <https://doi.org/10.3390/foods10061213>.

MELO, A. S. A.; RIBEIRO, A. P. L. Análise sensorial de cookies sem glúten elaborados com quinoa (*Chenopodium quinoa* WILLD). **Journal of Medicine and Health Promotion**, v. 6, p. 58-72, 2021.

MONTEIRO, C. R. A. V. *et al.* Prebiotics and gut health: mechanisms, clinical evidence, and future directions. **Nutrients**, v. 18, n. 3, p. 372, 2026. Doi: <https://doi.org/10.3390/nu18030372>.

MOZUMDER, M. M. H. *et al.* Sustainable utilization of fishery waste in bangladesh—A qualitative study for a circular bioeconomy initiative. **Fishes**, v. 7, n. 2, p. 84, 2022. Doi: <https://doi.org/10.3390/fishes7020084>.

MUKWEVHO, P.; EMMAMBUX, M. N. Effects of added resulting flours from heat-treated Bambara groundnut seeds on properties of composite Bambara groundnuts–wheat dough and bread. **Cereal Chemistry**, v. 101, n. 3, p. 668-680, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1002/cche.10766>.

MURICY, M. A. L. C.; EVANGELISTA-BARRETO, N. S. Desenvolvimento e análise sensorial de pão de forma enriquecido com concentrado protéico de peixe e farinha de taioba. In: Cordeiro, C. A. M.; Silva, E. M.; Evangelista-Barreto, N. S. **Ciência e Tecnologia de Alimentos: pesquisa e práticas contemporâneas - volume 3**. Guarujá: Editora Científica Digital, 2022. p. 81-97. Doi: <https://doi.org/10.37885/220308279>.

MUSLIMIN, I.; SYAHRUL, S.; METUSALACH, M. Effect of preparation treatments on the physico-chemical characteristics of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) protein concentrate. **International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology**, v. 7, n. 1, p. 61-67, 2022. Doi: <https://doi.org/10.22161/ijeab.71.8>.

NOREEN, S. *et al.* Health benefits of fish and fish by-products—a nutritional and functional perspective. **Frontiers in Nutrition**, v. 12, p. 1564315, 2025. Doi: <https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1564315>.

OLIVEIRA, P. V. C. *et al.* Substituição da farinha de trigo por farinha de banana verde na elaboração de biscoito tipo cookie. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 10, p. 75662-75672, 2020a. Doi: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n10-117>.

OLIVEIRA, T. W. N. *et al.* Caracterização físico-química e sensorial de biscoitos tipo cookie elaborados com farinha de berinjela (*solanum melongena* L.) e quiabo (*abelmoschus esculentus* L. Moench). **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 14259-14277, 2020b. Doi: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-335>.

ONUMAH, J. *et al.* Biological properties and application of chitosan and low molecular weight chitosan in food industry: A review. **Carbohydrate Research**, v. 552, Art. 109475, 2025. Doi: [10.1016/j.carres.2025.109475](https://doi.org/10.1016/j.carres.2025.109475).

OPREA, O. B. *et al.* Effects of fish protein hydrolysate on the nutritional, rheological, sensorial, and textural characteristics of bread. **Foods**, v. 13, n. 5, p. 698, 2024. Doi: <https://doi.org/10.3390/foods13050698>.

PEREIRA, J. S. *et al.* Development and characterization of whole wheat bread enriched with fish protein concentrate and natural preservatives. **Revista Remunom**, v. 01-03, p. 1-20, 2026. Doi: [10.61164/6vgjsq74](https://doi.org/10.61164/6vgjsq74).

RAHIM, M. A. *et al.* Functional and nutraceutical properties of fructo-oligosaccharides derivatives: a review. **International Journal of Food Properties**, v. 24, n. 1, p. 1588-1602, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1080/10942912.2021.1986520>.

REBELATTO, I. S. *et al.* Composição química e valor nutricional do pescado. *In*: **Engenharia de Pesca: aspectos teóricos e práticos** - volume 4. Guarujá: Editora Científica Digital, p. 50-66, 2022. Doi: <https://doi.org/10.37885/220408711>.

REBOUÇAS, M. C. *et al.* Caracterização do concentrado protéico de peixe obtido a partir dos resíduos da filetagem de tilápia do Nilo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 2, p. 697-704, 2012. Doi: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n2p697>.

RECH, K. P. M.; ZORZAN, V. **Aproveitamento de resíduos da indústria cervejeira na de cupcake**. 44f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2017.

REIS, T. S. M.; BISPO, AL. S. R.; EVANGELISTA-BARRETO, N. S. Análise sensorial de pães enriquecidos com proteína de peixe e farinhas vegetais. *In*: Cordeiro, C. A. M.; Afonso, A. M.; Bordignon, A. C. **Ciência e tecnologia do pescado [livro eletrônico]: uma análise pluralista**: volume 3. Guarujá, SP: Científica Digital, 2021. p. 26-39. Doi: [10.37885/210906206](https://doi.org/10.37885/210906206).

RIGUETO, C. V. T. *et al.* From waste to value-added products: A review of opportunities for fish waste valorization. **Environmental Quality Management**, v. 33, n. 1, p. 203-221, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1002/tqem.22040>.

SÁNCHEZ-MARTÍNEZ, M. J. *et al.* Manufacturing of short-chain fructooligosaccharides: from laboratory to industrial scale. **Food Engineering Reviews**, v. 12, n. 2, p. 149-172, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09209-0>.

SANTOS, R. B.; SILVA, J. F. X.; SILVA, A. P. A. P. Production of cookie enriched with fish concentrate protein (*Colossoma macropomum*). **Revista Delos**, v. 18, n. 67, p. 01-18, 2025. Doi: [10.55905/rdelosv18.n67-027](https://doi.org/10.55905/rdelosv18.n67-027).

SCHEUER, P. M. *et al.* Trigo: características e utilização na panificação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 13, n. 2, p. 211-222, 2011. Doi: <https://doi.org/10.15871/1517-8595/rbpa.v13n2p211-222>.

SEGUNDO, C. *et al.* Formulation and attributes of gluten-free cakes of Andean corn improved with green banana flour. **Food Science and Technology International**, v. 26, n. 2, p. 95-104, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1177/1082013219860361>.

SILVA, G. D. *et al.* Cookies with the addition of palm and moringa flour. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 16, n. 10, p. 1-13, 2025. Doi: <https://doi.org/10.7769/gesec.v16i10.5254>.

SIQUEIRA, I. R. Utilização de resíduos da indústria cervejeira na elaboração de brownies: formulação e rotulagem nutricional. **Revista da Jornada da Pós-graduação e Pesquisa**, v. 18, p. 165-177, 2024.

SOPHIAN, A. Nanoencapsulation of bioactive compounds: recente advances in food systems for enhanced stability and bioavailability. **Food Chemistry**, v. 520, Art. 149594, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2026.149594>.

SURASANI, V. K. R. *et al.* Fish protein fortification of low-protein staple foods: nutritional potential, functional properties, and emerging applications for combating global malnutrition. **Trends in Food Science & Technology**, v. 174, p. 105807, 2026. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2026.105807>.

TAN, K. *et al.* Effects of food processing on the lipid nutritional quality of commercially important fish and shellfish. **Food Chemistry: X**, v. 20, p. 101034, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.101034>.

TANYTIKU, M. N.; BESSEM, P.; PETCHEU, I. C. N. Gluten-free corn cookies incorporated with stinging nettle leaf flour: effect on physical properties, storage stability, and health benefits. **International Journal of Food Science**, v. 2024, Art. 8864560, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1155/2024/8864560>.

TAO, Z. *et al.* Yeast Extract: Characteristics, Production, Applications and Future Perspectives. **Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 33, n. 2, p. 151-166, 2022. Doi: 10.4014/jmb.2207.07057.

THOTA, N. *et al.* Lowering added sugar and increasing fibre in croissants using short-chain fructooligosaccharides (sc-FOS). **Food Hydrocolloids**, v. 150, p. 109761, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.109761>.

VIEIRA, E. S. S. *et al.* Avaliação sensorial de biscoito sem glúten do tipo cookie desenvolvido com farinha de amaranto e enriquecido com farinha de baru. **DESAFIOS - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 7 (Especial), p. 42-51, 2020. DOI: <https://doi.org/10.20873/uftsupl2020-8741>.

ZHOU, D.-Y. *et al.* Chitosan and derivatives: bioactivities and application in foods. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 12, n. 1, p. 407-432, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1146/annurev-food-070720-112725>.

COMIDA IMPRESSA EM 3D: A MANUFATURA ADITIVA COMO FRONTEIRA ESTRATÉGICA DA ALIMENTAÇÃO DO FUTURO

Pedro Augusto Bocchese

Universidade de Caxias do Sul (UCS)

Camila Baldasso

Universidade de Caxias do Sul (UCS)

RESUMO

A impressão 3D de alimentos, também denominada manufatura aditiva aplicada à alimentação, representa uma das interfaces mais promissoras entre ciência dos alimentos, engenharia de materiais, nutrição personalizada, biotecnologia e transformação digital. Ao possibilitar a fabricação de alimentos por deposição controlada de ingredientes comestíveis em camadas sucessivas, essa tecnologia desloca a produção alimentar de um modelo predominantemente padronizado para uma lógica de customização, precisão e produção sob demanda. Este artigo tem como objetivo apresentar uma narrativa introdutória e analítica sobre a comida impressa em 3D, abordando sua origem, seus fundamentos técnicos, suas aplicações globais, seus benefícios, seus pontos de atenção e sua inserção em uma agenda de futuro. Metodologicamente, trata-se de um ensaio teórico-analítico de natureza exploratória, operacionalizado por meio de uma revisão narrativa da literatura. O mapeamento conceitual foi estruturado a partir de buscas capilares nas bases Scopus, Web of Science e Google Scholar, priorizando a produção científica seminal e recente sobre manufatura aditiva aplicada à alimentação. Os resultados da análise indicam que a impressão 3D de alimentos ainda enfrenta desafios relacionados à escalabilidade, aceitação cultural, custo, regulamentação, segurança alimentar e maturidade tecnológica, mas apresenta potencial relevante para setores como saúde, gastronomia, alimentação hospitalar, exploração espacial, proteínas alternativas, educação alimentar e economia circular. Conclui-se que a comida impressa em 3D projeta-se como uma infraestrutura digital e estratégica global para o futuro, cujo amadurecimento técnico e regulatório nas próximas décadas redesenhará estruturalmente as cadeias de suprimentos descentralizadas, os modelos de consumo nutricional personalizados em massa e as políticas de sustentabilidade ecológica de longo prazo.

Palavras-chave: Impressão 3D de alimentos; FoodTech; nutrição personalizada; sustentabilidade alimentar; alimentação do futuro.

INTRODUÇÃO

A alimentação sempre esteve associada aos grandes ciclos de desenvolvimento da humanidade. A domesticação de plantas e animais, a agricultura, a industrialização dos alimentos, a refrigeração, a mecanização agrícola, a biotecnologia e a digitalização das cadeias produtivas são exemplos de marcos históricos que transformaram não apenas a forma como os alimentos são produzidos, mas também a organização social, econômica e cultural das civilizações. No século XXI, diante de pressões relacionadas ao crescimento populacional, às mudanças climáticas, à escassez de recursos naturais, ao desperdício alimentar e à busca por dietas mais saudáveis, novas tecnologias passam a ocupar posição estratégica no debate sobre o futuro dos sistemas alimentares.

Relatórios internacionais sobre segurança alimentar e transformação dos sistemas agroalimentares apontam que o mundo precisará repensar profundamente suas formas de produção, distribuição e consumo de alimentos. A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura destaca que os sistemas agroalimentares contemporâneos estão submetidos a múltiplas pressões, envolvendo crescimento demográfico, urbanização, desigualdades, mudanças climáticas, degradação ambiental e necessidade de maior resiliência produtiva (FAO, 2022). Na mesma direção, as projeções demográficas das Nações Unidas indicam que a população mundial continuará crescendo ao longo das próximas décadas, ampliando a complexidade da agenda alimentar global (UNITED NATIONS, 2024).

Nesse cenário, a impressão 3D de alimentos emerge como uma tecnologia de fronteira, situada na convergência entre manufatura aditiva, ciência dos alimentos, engenharia, design computacional, nutrição, saúde digital e inteligência artificial. Sua proposta fundamental consiste em produzir alimentos por meio da deposição controlada de ingredientes comestíveis, organizados camada por camada, a partir de modelos digitais previamente definidos. Embora ainda esteja em fase de consolidação industrial e mercadológica, essa tecnologia vem sendo investigada como alternativa para produzir alimentos personalizados, reduzir desperdícios, adaptar texturas, criar novas experiências sensoriais e atender necessidades nutricionais específicas.

A relevância científica e estratégica do tema está no fato de que a impressão 3D de alimentos desloca a alimentação de um paradigma essencialmente padronizado para um paradigma configurável. A lógica dominante da indústria alimentícia moderna foi construída sobre escala, eficiência, repetibilidade e distribuição em massa. A comida impressa em 3D, por sua vez, introduz a possibilidade de alimentos produzidos sob demanda, ajustados a indivíduos, contextos clínicos, restrições alimentares, objetivos metabólicos, preferências sensoriais e necessidades ambientais. Trata-se, portanto, de uma inovação que ultrapassa o campo da tecnologia produtiva e alcança dimensões sociais, culturais, econômicas e éticas.

Para a construção deste ensaio teórico-analítico, adotou-se a abordagem de revisão narrativa da literatura, ideal para a contextualização e análise prospectiva de tecnologias emergentes. A seleção do corpus bibliográfico deu-se por meio de buscas estruturadas nas bases indexadoras Scopus, Web of Science e Google Scholar, utilizando os descritores combinados: '3D food printing', 'additive manufacturing', 'personalized nutrition' e 'food reology'. Foram priorizados tanto os estudos seminais e fundacionais da área (publicados a partir de 2015 pelos núcleos de pesquisa de referência global) quanto relatórios institucionais estratégicos recentes (FAO e ONU), garantindo o alinhamento entre o rigor técnico-reológico e as projeções socioeconômicas globais.

Este artigo parte da premissa de que a comida impressa em 3D deve ser compreendida não como substituta imediata da alimentação convencional, mas como uma tecnologia complementar e potencialmente disruptiva dentro de ecossistemas alimentares mais inteligentes, sustentáveis e personalizados. Assim, o objetivo é construir uma narrativa inicial, científica e estratégica sobre o tema, abordando seu conceito, sua origem, seu funcionamento, sua fundamentação teórica, suas aplicações no mundo, seus benefícios, seus riscos e sua conexão com uma visão de futuro.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: MANUFATURA ADITIVA E IMPRESSÃO 3D DE ALIMENTOS

A impressão 3D é uma expressão popularmente utilizada para designar processos de manufatura aditiva, nos quais objetos tridimensionais são produzidos

por adição sucessiva de material a partir de um modelo digital. Diferentemente dos métodos subtrativos, baseados na retirada de material, ou dos métodos tradicionais de conformação, a manufatura aditiva permite a construção de geometrias complexas com elevado grau de controle sobre forma, estrutura e composição. No campo alimentar, essa lógica é adaptada para o uso de matérias-primas comestíveis, frequentemente denominadas tintas alimentares, pastas, géis, massas ou formulações impressas.

Segundo Lipton *et al.* (2015), a manufatura aditiva aplicada à indústria de alimentos constitui um campo emergente com grande potencial, mas ainda em busca de aplicações de ampla utilidade prática. Para os autores, a impressão 3D de alimentos permite explorar novas formas de fabricação, personalização e design alimentar, mas depende de avanços em materiais, equipamentos, processos e aceitação do consumidor. Essa leitura é importante porque evita uma visão excessivamente futurista ou meramente promocional da tecnologia, situando-a em um estágio de desenvolvimento no qual o potencial é elevado, mas as limitações ainda são relevantes.

Sun *et al.* (2015) afirmam que a impressão 3D de alimentos oferece uma solução de engenharia para o design alimentar customizado e para o controle nutricional personalizado. A contribuição desses autores é central para compreender que a tecnologia não se resume à criação de formatos esteticamente diferenciados, mas envolve a possibilidade de controlar com precisão a arquitetura do alimento, sua composição e sua funcionalidade. Nesse sentido, o alimento impresso passa a ser interpretado como um produto projetado digitalmente, no qual forma, textura, densidade, porosidade e valor nutricional podem ser intencionalmente configurados.

Godoi, Prakash e Bhandari (2016) ampliam essa discussão ao argumentarem que a impressão 3D aplicada ao design de alimentos possui potencial para fabricar estruturas complexas, texturas elaboradas e conteúdos nutricionais ajustados. Para esses autores, a tecnologia pode ser entendida como uma plataforma de inovação para a indústria alimentícia, especialmente quando associada a métodos como extrusão, jateamento de material e deposição seletiva. Embora diferentes técnicas possam ser aplicadas, a extrusão tem se destacado como uma das abordagens mais utilizadas na impressão 3D de alimentos, em

razão de sua relativa simplicidade operacional e compatibilidade com diversos ingredientes alimentares.

A literatura técnica indica que um dos principais desafios da impressão 3D de alimentos está relacionado à printabilidade, ou seja, à capacidade de uma formulação alimentar ser impressa com estabilidade, precisão geométrica e manutenção da estrutura após a deposição. Severini, Derossi e Azzollini (2016) demonstram que variáveis como altura da camada, percentual de preenchimento e características da massa influenciam diretamente a qualidade final do alimento impresso. Essa perspectiva evidencia que a impressão 3D de alimentos não depende apenas do equipamento, mas também do comportamento reológico dos ingredientes, da viscosidade, da elasticidade, da capacidade de retenção de forma e da interação entre formulação e parâmetros de impressão.

Derossi *et al.* (2018) reforçam essa abordagem ao investigarem a aplicação da impressão 3D na produção de alimentos customizados a partir de formulações de frutas. O estudo demonstra que variáveis como velocidade de impressão e fluxo de material afetam a regularidade estrutural e a fidelidade do produto final. Essa contribuição é relevante porque evidencia a possibilidade de imprimir alimentos com finalidades nutricionais específicas, mas também mostra que pequenas alterações nos parâmetros do processo podem comprometer a estabilidade e a qualidade do alimento produzido.

A noção de tinta alimentar é outro elemento fundamental para a compreensão do tema. Liu, Zhang e Bhandari (2018) discutem que as formulações utilizadas na impressão 3D de alimentos precisam apresentar propriedades mecânicas e reológicas adequadas, pois tais características determinam a capacidade de extrusão, deposição, adesão entre camadas e sustentação da estrutura impressa. Ingredientes como chocolate, purês vegetais, massas, queijos, proteínas, hidrocolóides e géis são frequentemente estudados por apresentarem potencial de adaptação às exigências do processo. No entanto, cada categoria de material impõe desafios próprios, especialmente em relação à textura, estabilidade, sabor, processamento térmico e conservação.

A fundamentação teórica da comida impressa em 3D também se relaciona ao conceito de personalização em massa. A indústria alimentícia tradicional, orientada por escala, trabalha com produtos relativamente padronizados. A impressão

3D, por sua vez, abre espaço para alimentos individualizados sem necessariamente eliminar a possibilidade de produção sistematizada. Essa lógica aproxima a alimentação de tendências já observadas em outras áreas, como medicina personalizada, wearables, plataformas digitais e manufatura sob demanda. Desse modo, a comida impressa em 3D pode ser compreendida como parte de um movimento mais amplo de digitalização da matéria, no qual dados, algoritmos e materiais passam a interagir para produzir bens físicos customizados.

ORIGEM E EVOLUÇÃO DA COMIDA IMPRESSA EM 3D

A trajetória da impressão 3D de alimentos está vinculada ao desenvolvimento mais amplo da manufatura aditiva. Embora a impressão 3D tenha se consolidado inicialmente em setores como engenharia, prototipagem industrial, medicina, odontologia e design de produtos, sua aplicação ao campo alimentar começou a ganhar relevância a partir dos anos 2000, especialmente em ambientes acadêmicos e experimentais. Um dos marcos frequentemente mencionados na literatura é o desenvolvimento de plataformas abertas de fabricação pessoal, como o projeto Fab@Home, associado à Universidade Cornell, que permitiu testar a deposição de materiais diversos, incluindo substâncias comestíveis.

Lipton *et al.* (2015) observam que os primeiros experimentos com impressão 3D de alimentos estavam fortemente relacionados à exploração de novas formas de fabricação e ao uso de materiais compatíveis com extrusão. Nesse período, chocolate, massas, glacês, queijos processados e purês passaram a ser testados por apresentarem comportamento físico mais adequado à deposição controlada. A fase inicial foi marcada por uma combinação de curiosidade tecnológica, experimentação gastronômica e investigação científica sobre propriedades de materiais alimentares.

A partir da década de 2010, a impressão 3D de alimentos ganhou maior visibilidade, impulsionada por pesquisas acadêmicas, startups de FoodTech, projetos de gastronomia experimental e iniciativas voltadas à exploração espacial. A NASA passou a apoiar estudos sobre sistemas de impressão de alimentos para missões espaciais de longa duração, considerando a necessidade de oferecer variedade, personalização nutricional, estabilidade de ingredientes e redução de carga logística em ambientes extremos (ENFIELD, 2022). Essa aplicação

foi particularmente relevante para popularizar o tema, pois associou a comida impressa em 3D a uma visão de futuro marcada por autonomia, sobrevivência em ambientes remotos e produção alimentar descentralizada.

A exploração espacial representa um campo emblemático porque evidencia limitações dos modelos tradicionais de alimentação. Em missões de longa duração, alimentos precisam ter elevada vida útil, densidade nutricional, segurança microbiológica, variedade sensorial e capacidade de adaptação às necessidades fisiológicas dos astronautas. Santhoshkumar *et al.* (2024) destacam que a impressão 3D de alimentos pode contribuir para enfrentar desafios relacionados à personalização nutricional, à variedade de refeições e à saúde psicológica de tripulações em missões espaciais prolongadas. Ainda que a aplicação em larga escala no espaço permaneça em fase de pesquisa, o campo espacial funciona como laboratório avançado para soluções que posteriormente podem ser adaptadas à Terra.

No ambiente terrestre, a evolução da tecnologia passou a ser associada à gastronomia de alta performance, à alimentação hospitalar, à nutrição de idosos, à produção de snacks personalizados e ao desenvolvimento de proteínas alternativas. Empresas e centros de pesquisa em países como Estados Unidos, Holanda, Espanha, Alemanha, Israel, Singapura, Japão e Reino Unido vêm investigando possibilidades de aplicação comercial. A literatura recente mostra que o campo se deslocou de uma etapa predominantemente experimental para uma fase mais aplicada, ainda que marcada por barreiras de custo, escala, regulamentação e aceitação. Estudos recentes apontam que o ano de 2026 marca a consolidação da impressão 3D como uma ferramenta de manufatura confiável, impulsionada pela integração de sistemas de monitoramento em malha fechada (closed-loop) e algoritmos de inteligência artificial que otimizam a deposição de materiais em tempo real (YANG *et al.*, 2026). Essa nova fase não apenas amplia a precisão na criação de análogos de carne e dietas hospitalares, mas também estabelece a impressão 3D como uma infraestrutura digital essencial para a segurança alimentar em um cenário de cadeias produtivas globais cada vez mais automatizadas e orientadas por dados.

COMO FUNCIONA A IMPRESSÃO 3D DE ALIMENTOS

O funcionamento da impressão 3D de alimentos pode ser compreendido como um processo integrado entre modelagem digital, formulação alimentar, controle de parâmetros de impressão e, em muitos casos, pós-processamento. Inicialmente, o alimento é projetado em ambiente computacional, por meio de um modelo tridimensional que define sua forma, dimensões, preenchimento, geometria interna e padrão de deposição. Em seguida, esse modelo é convertido em instruções para a impressora, que organiza o processo camada por camada.

Na tecnologia por extrusão, uma das mais utilizadas no campo alimentar, o ingrediente comestível é acondicionado em cartuchos ou reservatórios e pressionado por um sistema mecânico, pneumático ou hidráulico, sendo depositado sobre uma superfície de impressão. A precisão do processo depende de fatores como diâmetro do bico, velocidade de deslocamento, pressão de extrusão, altura da camada, temperatura, viscosidade da formulação e tempo de estabilização. Assim, a impressão 3D de alimentos exige uma interação sofisticada entre engenharia de processo e ciência dos alimentos.

A formulação dos ingredientes é uma etapa crítica. Para que um alimento seja imprimível, ele precisa fluir adequadamente durante a extrusão, mas também manter sua forma após ser depositado. Essa condição cria uma tensão técnica entre fluidez e estabilidade. Se o material for excessivamente líquido, a estrutura colapsa. Se for muito rígido, pode não ser extrudado de forma eficiente. Por isso, hidrocoloides, proteínas, fibras, amidos, géis e agentes estruturantes são frequentemente utilizados para ajustar propriedades reológicas das tintas alimentares. Yang *et al.* (2024) destacam que muitos alimentos impressos em 3D dependem da presença de hidrocoloides para alcançar fluxo adequado e estabilidade estrutural, evidenciando o papel central dos aditivos funcionais na qualidade do produto final.

Após a deposição, determinados alimentos podem exigir etapas adicionais, como cozimento, assamento, resfriamento, secagem, gelificação ou solidificação. Essa etapa é particularmente relevante porque a impressão define a forma inicial, mas o processamento posterior pode alterar textura, umidade, sabor, estabilidade e aparência. Severini, Derossi e Azzollini (2016) demonstram que produtos cerealistas impressos podem sofrer alterações dimensionais após o

cozimento, o que evidencia a necessidade de considerar não apenas a impressão, mas todo o ciclo de transformação do alimento.

A impressão 3D de alimentos também pode incorporar múltiplos ingredientes, permitindo a fabricação de estruturas com diferentes camadas, sabores, densidades e composições nutricionais. Em uma perspectiva mais avançada, esse processo poderá ser combinado com sistemas inteligentes capazes de calcular necessidades individuais e traduzir essas informações em receitas digitais. Nesse cenário, a impressora de alimentos deixa de ser apenas uma máquina de fabricação e passa a integrar um ecossistema de dados nutricionais, saúde digital e automação alimentar.

BENEFÍCIOS E POTENCIALIDADES DA COMIDA IMPRESSA EM 3D

Um dos principais benefícios da impressão 3D de alimentos é a personalização nutricional. A alimentação contemporânea ainda é majoritariamente construída sobre recomendações gerais, produtos padronizados e dietas médias. Contudo, indivíduos possuem necessidades distintas em razão de idade, metabolismo, condições clínicas, composição corporal, atividade física, restrições alimentares, alergias, objetivos de saúde e fatores genéticos. A impressão 3D de alimentos oferece a possibilidade de formular refeições ajustadas a essas variáveis, permitindo que nutrientes, calorias, textura e volume sejam definidos de maneira mais precisa.

Sun *et al.* (2015) já indicavam que a impressão 3D de alimentos poderia funcionar como solução para controle nutricional personalizado. Yang *et al.* (2024), ao analisarem a relação entre impressão 3D e nutrição personalizada, reforçam que a tecnologia apresenta potencial para desenvolver alimentos funcionais, enriquecidos com ingredientes específicos e adaptados a necessidades particulares. Essa capacidade é especialmente importante em contextos clínicos, esportivos e geriátricos, nos quais pequenas variações nutricionais podem ter impacto significativo sobre desempenho, recuperação ou qualidade de vida.

Outro benefício relevante é a adaptação de textura para pessoas com dificuldades de mastigação ou deglutição. A disfagia, condição comum entre

idosos e pacientes com determinadas enfermidades neurológicas, exige dietas modificadas que muitas vezes perdem aparência, atratividade e prazer sensorial. Lorenz *et al.* (2022) apontam que a impressão 3D pode ser uma alternativa aprimorada para a produção de dietas com textura modificada, pois permite combinar segurança de deglutição, valor nutricional e apresentação visual mais atrativa. Esse ponto é particularmente relevante porque a alimentação não é apenas uma necessidade biológica, mas também uma experiência cultural, emocional e estética.

A redução do desperdício alimentar constitui outra potencialidade estratégica. A impressão 3D de alimentos pode contribuir para o aproveitamento de ingredientes que seriam descartados por não atenderem padrões estéticos de mercado, como frutas e vegetais fora de especificação visual. Esses insumos podem ser processados, transformados em pastas ou formulações e utilizados em novos produtos. Embora essa aplicação ainda dependa de viabilidade econômica, segurança alimentar e aceitação do consumidor, ela se alinha aos princípios da economia circular e da sustentabilidade alimentar.

No campo da gastronomia, a impressão 3D abre possibilidades criativas para chefs, designers de alimentos e pesquisadores sensoriais. A tecnologia permite fabricar geometrias complexas, padrões internos e formas que seriam difíceis ou inviáveis por métodos tradicionais. Nesse sentido, a comida impressa em 3D também pode ser entendida como linguagem estética e experimental. A alimentação passa a ser projetada não apenas em termos de sabor, mas também de arquitetura, volume, textura, porosidade e experiência visual.

Na perspectiva industrial, a impressão 3D pode atuar como ferramenta de prototipagem rápida para desenvolvimento de novos produtos alimentícios. Empresas podem testar formatos, composições, texturas e estruturas antes de investir em linhas produtivas convencionais. Lipton *et al.* (2015) destacam que a manufatura aditiva no setor alimentício pode funcionar como ambiente de experimentação e inovação, embora ainda enfrente desafios para atingir escala produtiva comparável à indústria tradicional.

APLICAÇÕES DA IMPRESSÃO 3D DE ALIMENTOS NO MUNDO

As aplicações da impressão 3D de alimentos vêm se expandindo em diferentes setores, ainda que em ritmos e níveis de maturidade distintos. Na saúde, uma das aplicações mais promissoras está relacionada à produção de alimentos personalizados para pacientes hospitalares, idosos e pessoas com disfagia. Em instituições de longa permanência e ambientes clínicos, a tecnologia pode permitir refeições com textura segura, aparência mais próxima de alimentos convencionais e composição nutricional ajustada. Lorenz *et al.* (2022) e Chao *et al.* (2024) apontam que a impressão 3D pode contribuir para melhorar a ingestão alimentar de idosos com dificuldades de deglutição, especialmente quando combinada com vegetais frescos, hidrocoloides e controle de textura.

Na exploração espacial, a impressão 3D de alimentos é investigada como alternativa para ampliar a autonomia alimentar em missões de longa duração. O interesse da NASA por sistemas de produção alimentar automatizados decorre da necessidade de reduzir a dependência logística, ampliar a variedade de refeições e adaptar dietas a condições fisiológicas específicas dos astronautas. Santhoshkumar *et al.* (2024) observam que a alimentação espacial envolve não apenas nutrição, mas também bem-estar psicológico, aceitabilidade sensorial e segurança em ambientes extremos. A comida impressa em 3D, nesse contexto, representa uma infraestrutura potencial para a sobrevivência humana fora da Terra.

No setor gastronômico, restaurantes experimentais e empresas de tecnologia alimentar têm utilizado impressoras 3D para criar sobremesas, chocolates, massas, esculturas comestíveis e pratos com geometrias diferenciadas. Embora essa aplicação possa parecer restrita ao campo estético, ela desempenha papel importante na difusão cultural da tecnologia. A gastronomia funciona como laboratório de aceitação, comunicação e experimentação, permitindo que consumidores tenham contato com alimentos impressos de maneira lúdica e sensorialmente positiva.

No campo das proteínas alternativas, a impressão 3D vem sendo explorada para criar produtos que imitam carne, peixe e outras estruturas alimentares complexas. O desafio, nesse caso, não se limita ao sabor, mas envolve textura, fibrosidade, suculência, resistência à mastigação e comportamento

térmico. A impressão 3D pode auxiliar na organização espacial de proteínas vegetais, gorduras, fibras e agentes estruturantes, aproximando produtos alternativos da experiência sensorial de alimentos de origem animal. Essa aplicação se conecta diretamente ao debate sobre sustentabilidade, emissões de gases de efeito estufa, uso de terra, consumo de água e bem-estar animal.

Na educação alimentar e científica, a impressão 3D também apresenta potencial relevante. Ao transformar alimentos em objetos projetáveis, a tecnologia permite ensinar conceitos de nutrição, engenharia, biologia, química, design e sustentabilidade de forma integrada. Escolas, universidades e centros de inovação podem utilizar impressoras de alimentos como plataformas didáticas para discutir alimentação do futuro, desperdício, composição nutricional e ciência dos materiais. Essa dimensão educacional é relevante porque a aceitação de novas tecnologias alimentares depende não apenas de disponibilidade técnica, mas também de compreensão social.

LIMITAÇÕES DO ESTUDO E ASPECTOS CRÍTICOS

Apesar do potencial transformador, a impressão 3D de alimentos enfrenta desafios significativos. O primeiro deles é a aceitação cultural. A alimentação é profundamente marcada por tradições, memórias afetivas, identidades familiares, práticas religiosas, hábitos regionais e percepções de naturalidade. Alimentos produzidos por impressoras podem ser percebidos por parte dos consumidores como artificiais, ultraprocessados ou distantes da ideia de comida “de verdade”. Ross *et al.* (2022) destacam que a neofobia alimentar tecnológica pode influenciar negativamente a disposição dos consumidores em experimentar alimentos impressos em 3D, embora a percepção de relevância pessoal da tecnologia possa aumentar sua aceitação.

Esse ponto é estratégico porque a adoção de tecnologias alimentares não depende apenas de desempenho técnico. A história da alimentação mostra que inovações precisam ser culturalmente legitimadas para se tornarem parte do cotidiano. Assim, a comunicação sobre comida impressa em 3D deve evitar narrativas excessivamente tecnicistas e aproximar a tecnologia de benefícios concretos, como saúde, segurança, conveniência, personalização e redução de

desperdícios. A aceitação tende a ser maior quando o consumidor compreende por que aquela tecnologia é útil para sua vida.

Outro desafio relevante está relacionado aos custos. Impressoras de alimentos, ingredientes especializados, softwares, manutenção, controle de qualidade e profissionais capacitados ainda representam barreiras para adoção em larga escala. Yang *et al.* (2024) indicam que limitações como tempo de impressão, velocidade, escala produtiva, segurança dos produtos e necessidade de especialistas ainda dificultam a popularização da tecnologia. Em comparação aos métodos industriais tradicionais, altamente otimizados para produção em massa, a impressão 3D ainda apresenta menor velocidade e maior complexidade operacional.

A segurança alimentar é outro ponto crítico. Como qualquer processo de produção de alimentos, a impressão 3D precisa garantir controle microbiológico, higiene dos equipamentos, rastreabilidade de ingredientes, limpeza dos cartuchos, estabilidade das formulações e prevenção de contaminações cruzadas. O desafio é ampliado pelo fato de que a tecnologia envolve interfaces entre hardware, software, ingredientes perecíveis e manipulação personalizada. Isso exige protocolos específicos de boas práticas de fabricação, validação sanitária e regulamentação.

A regulamentação ainda é um campo em desenvolvimento. Órgãos reguladores precisarão definir critérios para ingredientes, equipamentos, processos, rotulagem, responsabilidade técnica, segurança de arquivos digitais, validação nutricional e rastreabilidade. Quando a receita passa a ser também um arquivo digital, surgem questões sobre propriedade intelectual, padronização, adulteração de parâmetros e responsabilidade em caso de falha. A comida impressa em 3D, portanto, introduz uma camada ciberfísica na segurança alimentar, pois conecta dados, software, máquina e produto comestível.

A escalabilidade representa outra limitação. Embora a impressão 3D seja excelente para personalização e produção sob demanda, ela ainda não compete facilmente com métodos industriais convencionais em produtos de alto volume e baixo custo. Seu valor estratégico tende a ser maior em nichos nos quais personalização, funcionalidade, complexidade geométrica ou adaptação nutricional justificam o custo adicional. Hospitais, clínicas, casas de repouso, gastronomia

premium, pesquisa espacial, suplementos personalizados e alimentação funcional são exemplos de contextos mais aderentes no curto e médio prazo.

COMIDA IMPRESSA EM 3D, INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E ALIMENTAÇÃO PERSONALIZADA

A conexão entre impressão 3D de alimentos e inteligência artificial amplia significativamente o horizonte da tecnologia. Se a impressora é o meio físico de fabricação, os dados e os algoritmos podem se tornar a camada cognitiva responsável por definir o que deve ser produzido, em que quantidade, com quais ingredientes e para qual finalidade. Essa integração aproxima a alimentação de um modelo baseado em evidências, no qual informações biométricas, exames laboratoriais, histórico clínico, preferências individuais e objetivos de saúde podem orientar a composição alimentar.

A literatura sobre nutrição personalizada aponta para uma transição gradual de recomendações genéricas para modelos mais individualizados. Quando associada à impressão 3D, essa tendência pode permitir a produção de refeições calculadas para necessidades específicas. Um paciente em recuperação cirúrgica poderia receber alimentos com maior teor proteico e textura adaptada. Um atleta poderia consumir refeições ajustadas ao ciclo de treinamento. Uma pessoa com restrição de sódio poderia receber alimentos com distribuição sensorial otimizada de sal, preservando a percepção de sabor com menor teor total. Um idoso com disfagia poderia consumir alimentos visualmente atrativos e seguros para deglutição.

A inteligência artificial também pode atuar na formulação de tintas alimentares, na predição de printabilidade, na otimização de parâmetros de impressão e na análise sensorial. Modelos computacionais podem prever o comportamento de ingredientes durante extrusão, deposição e pós-processamento, reduzindo erros e acelerando o desenvolvimento de novos produtos. Nesse contexto, a comida impressa em 3D passa a ser parte de uma arquitetura tecnológica mais ampla, composta por sensores, bancos de dados nutricionais, algoritmos de recomendação, plataformas de saúde digital e sistemas automatizados de produção.

Essa convergência, entretanto, também exige cuidado ético. Dados nutricionais e biométricos são sensíveis, pois revelam informações sobre saúde, hábitos, restrições, metabolismo e estilo de vida. A personalização alimentar baseada em dados precisa respeitar princípios de privacidade, consentimento, transparência, segurança da informação e responsabilidade algorítmica. A alimentação do futuro não pode ser apenas tecnologicamente avançada; ela precisa ser socialmente confiável, eticamente orientada e segura.

SUSTENTABILIDADE, SEGURANÇA ALIMENTAR E NARRATIVA DE FUTURO

A impressão 3D de alimentos deve ser analisada dentro de uma agenda mais ampla de sustentabilidade e segurança alimentar. A FAO (2022) destaca que os sistemas agroalimentares precisam ser transformados para se tornarem mais resilientes, inclusivos e sustentáveis. Essa transformação não depende de uma única tecnologia, mas de um conjunto de mudanças envolvendo produção agrícola, cadeias logísticas, consumo, redução de desperdício, governança, inovação e políticas públicas. A comida impressa em 3D insere-se nesse contexto como uma das possíveis infraestruturas de apoio à transição alimentar.

Seu potencial sustentável está associado à produção sob demanda, ao uso mais eficiente de ingredientes, à valorização de matérias-primas alternativas, à redução de desperdícios e à possibilidade de desenvolver alimentos com menor impacto ambiental. Entretanto, é necessário evitar uma visão ingênua. A sustentabilidade da impressão 3D de alimentos dependerá da origem dos ingredientes, do consumo energético dos equipamentos, da vida útil das máquinas, da logística dos insumos, dos materiais utilizados nos cartuchos e da capacidade real de substituir processos mais impactantes. Portanto, a tecnologia não é sustentável por definição; ela pode ser sustentável quando integrada a modelos produtivos responsáveis.

A narrativa de futuro da comida impressa em 3D está relacionada à descentralização da produção alimentar. Em um cenário prospectivo, hospitais, escolas, restaurantes, bases militares, missões espaciais, navios, comunidades remotas e residências poderiam produzir alimentos localmente a partir de ingredientes estabilizados, bases nutricionais e receitas digitais. Essa possibilidade altera a

lógica da cadeia alimentar, reduzindo dependências logísticas em determinados contextos e ampliando a autonomia de produção.

No ambiente doméstico, ainda é improvável que impressoras 3D de alimentos se popularizem rapidamente como eletrodomésticos convencionais. No entanto, no médio e longo prazo, é possível imaginar sistemas híbridos nos quais cozinhas inteligentes combinem refrigeração, sensores, assistentes digitais, recomendação nutricional e fabricação automatizada. Nesse futuro, a alimentação poderá ser gerada a partir de uma interação entre dados de saúde, preferências sensoriais, restrições alimentares e disponibilidade de ingredientes.

No campo social, a comida impressa em 3D também pode contribuir para inclusão alimentar. Pessoas com restrições severas, idosos, pacientes hospitalizados e indivíduos com necessidades nutricionais específicas poderão se beneficiar de alimentos mais adequados às suas condições. A tecnologia, nesse caso, não deve ser interpretada como luxo futurista, mas como instrumento de cuidado, dignidade e qualidade de vida. A possibilidade de transformar dietas pastosas em refeições visualmente atrativas é um exemplo claro de como tecnologia e humanização podem convergir.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A comida impressa em 3D representa uma das expressões mais avançadas da convergência entre tecnologia, alimentação, saúde e sustentabilidade. Embora ainda esteja em processo de maturação, sua relevância científica e estratégica decorre da capacidade de transformar alimentos em produtos digitalmente projetados, personalizados e produzidos sob demanda. Trata-se de uma tecnologia que amplia o repertório da indústria alimentícia, da gastronomia, da nutrição clínica e da pesquisa em sistemas alimentares do futuro.

A análise realizada permite compreender que a impressão 3D de alimentos não deve ser reduzida à ideia de “imprimir comida” como curiosidade tecnológica. Seu significado é mais profundo. Ela representa a possibilidade de reconfigurar a relação entre dados, ingredientes, máquinas e necessidades humanas. Ao permitir controle sobre forma, textura, composição e funcionalidade, a tecnologia

aproxima a alimentação de campos como medicina personalizada, design computacional, inteligência artificial e economia circular.

Os benefícios potenciais são expressivos, especialmente em personalização nutricional, adaptação de textura, redução de desperdício, inovação gastronômica, alimentação hospitalar, exploração espacial e desenvolvimento de proteínas alternativas. Contudo, os desafios também são relevantes. Custos, escalabilidade, segurança alimentar, regulamentação, aceitação cultural e maturidade técnica ainda limitam a adoção em larga escala. Por isso, a comida impressa em 3D deve ser compreendida como tecnologia emergente, promissora, mas ainda dependente de pesquisa, validação e modelos de negócio sustentáveis.

No horizonte das próximas décadas, a pergunta central talvez não seja se a impressão 3D substitui a alimentação tradicional. É pouco provável que isso aconteça de forma ampla. A questão mais estratégica é compreender em quais contextos essa tecnologia criará valor superior aos métodos convencionais. A resposta tende a estar nos ambientes em que personalização, precisão, funcionalidade, segurança e sustentabilidade sejam atributos decisivos.

Assim, a comida impressa em 3D pode ser vista como uma das tecnologias que ajudarão a compor a alimentação do futuro. Um futuro no qual produzir alimentos significará também interpretar dados, projetar experiências, respeitar restrições individuais, reduzir impactos ambientais e ampliar o acesso a soluções nutricionais mais inteligentes. A alimentação, nesse novo paradigma, deixa de ser apenas produto da agricultura e da indústria; passa também a ser resultado de engenharia, ciência, dados e design. Mais do que imprimir alimentos, a humanidade poderá imprimir novas possibilidades de cuidado, saúde e sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

CHAO, C. *et al.* Potentials of 3D printing in nutritional and textural customization of personalized food for elderly with dysphagia. **Applied Food Research**, 2024.

DEROSS, A.; CAPORIZZI, R.; AZZOLLINI, D.; SEVERINI, C. Application of 3D printing for customized food: a case on the development of a fruit-based snack for children. **Journal of Food Engineering**, v. 220, p. 65-75, 2018.

FAO. **The future of food and agriculture: drivers and triggers for transformation**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022.

GODOI, F. C.; PRAKASH, S.; BHANDARI, B. R. 3D printing technologies applied for food design: status and prospects. **Journal of Food Engineering**, v. 179, p. 44-54, 2016.

LIPTON, J. I.; CUTLER, M.; NIGL, F.; COHEN, D.; LIPSON, H. Additive manufacturing for the food industry. **Trends in Food Science & Technology**, v. 43, n. 1, p. 114-123, 2015.

LIU, Z.; ZHANG, M.; BHANDARI, B. 3D food printing: a categorised review of inks and their development. **Trends in Food Science & Technology**, v. 71, p. 231-242, 2018.

LORENZ, T. *et al.* 3D food printing applications related to dysphagia: a narrative review. **Foods**, v. 11, n. 12, 2022.

ENFIELD, R. E. *et al.* **The future of 3D food printing: Opportunities for space applications**. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, v. 63, p. 10079-10092, 2022.

ROSS, M. M. *et al.* Overcoming barriers to consumer acceptance of 3D-printed food. **Food Quality and Preference**, v. 100, 2022.

SANTHOSHKUMAR, P. *et al.* 3D printing for space food applications. **Current Research in Food Science**, 2024.

SEVERINI, C.; DEROSS, A.; AZZOLLINI, D. Variables affecting the printability of foods: preliminary tests on cereal-based products. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 38, p. 281-291, 2016.

SUN, J. *et al.* An overview of 3D printing technologies for food fabrication. **Food and Bioprocess Technology**, v. 8, p. 1605-1615, 2015.

UNITED NATIONS. **World Population Prospects 2024: summary of results**. New York: United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2024.

YANG, M. *et al.* **Recent advances in 3D food printing: printable materials, tuning strategies, and personalized nutrition**. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, v. 64, n. 12, p. 3890-3912, 2024.

YANG, M. *et al.* **Recent Advances in 3D Food Printing: A Critical Review of Emerging Technologies, Material Innovations, and Novel Applications**. Applied Food Research, v. 6, n. 1, art. 101773, 2026.

ZHANG, J. Y.; PANDYA, J. K.; MCCLEMENTS, D. J.; LU, J.; KINCHLA, A. J. Advancements in 3D food printing: a comprehensive overview of properties and opportunities. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 62, n. 17, p. 4752-4768, 2022.

LEITE A2A2 E SEUS DERIVADOS: SABERES, AVANÇOS E INOVAÇÕES NA CADEIA LÁCTEA BRASILEIRA

Beatriz Santana da Silva

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

RESUMO

O leite de vaca possui uma composição nutricional benéfica para o corpo humano, dentre seus componentes principais, destacam-se as proteínas, carboidratos, lipídeos, sais minerais e vitaminas. No âmbito das proteínas, 80% são formadas por caseínas, que são distribuídas principalmente pela α s1-caseína, α s2-caseína, β -caseína e k-caseína. Cerca de 25-30% do total das caseínas são formadas por beta-caseínas, que podem ser encontradas na forma A1 e A2. O leite tradicional, originário de vacas que possuem o alelo A1 no seu genótipo, possui na composição a proteína beta-caseína A1, que atua como facilitadora da liberação de um peptídeo opioide chamado beta-casomorfina 7 (BCM-7) durante a digestão do alimento. Por sua vez, o BCM-7 confere prováveis complicações à saúde humana principalmente em indivíduos geneticamente suscetíveis, como o desconforto digestivo. O leite A2 é considerado um alimento de melhor digestão pela ausência da proteína beta-caseína A1, por isso é indicado para indivíduos alérgicos ao leite tradicional. Ademais, a literatura aponta que o leite A2 é benéfico para o intestino humano aumentando a imunidade, além de poder reduzir a concentração de lipídios LDL e o colesterol do organismo humano, prevenindo doenças cardiovasculares. No quesito derivados, há a possibilidade de diversificar ainda mais os produtos com o selo A2, o que implicaria novas oportunidades para pesquisadores, fazendas produtoras e a indústria. No Brasil, a cadeia láctea A2 ainda é recente, existindo alguns desafios para os interessados em ingressar neste mercado superarem, tais como: mercado econômico, investimentos nas fazendas produtoras, parceria entre as indústrias e os produtores, melhoramento genético, regulamentação, certificação, desenvolvimento de produtos e marketing.

Palavras-chave: Beta-caseína A2; beta-casomorfina 7; cadeia láctea A2; indústria de laticínios.

INTRODUÇÃO

O leite é um alimento completo e indispensável pelo seu alto valor nutricional desde os primeiros estágios da vida humana. Nesse cenário, o Brasil consolida-se como um dos maiores produtores mundiais de lácteos, atingindo uma produção de aproximadamente 35 bilhões de litros em 2023, com destaque para o protagonismo das regiões Sul e Sudeste segundo dados do IBGE (CILEITE-Embrapa, 2024). Diante do mercado de laticínios em diversos países, inclusive no Brasil, o consumidor conta com opções de produtos lácteos oriundos da combinação de dois alelos diferentes das vacas, que é o alelo A1 e o A2, e eles podem formar três genótipos distintos, sendo eles A1A1, A1A2 e A2A2 (Marino, 2021).

O leite produzido da combinação genética A2A2 é comumente encontrado produtos comercializados com o selo "A2", e está sendo tema de estudos no âmbito acadêmico e de pesquisas, principalmente no que diz respeito à atuação no organismo humano e os benefícios à saúde. O principal interesse no alimento é na sua composição, que é praticamente a mesma do leite comum (oriundo de vacas A1A2 ou A1A1), exceto pelas proteínas. A beta-caseína representa cerca de 30% do total das proteínas contidas no leite e geralmente ela pode ser encontrada de duas formas diferentes: beta-caseína A1 e beta-caseína A2 (Barbosa *et al.*, 2019). No entanto, a primeira não está presente no leite A2, portanto, durante a digestão, não ocorre de forma considerável a reação de hidrólise enzimática que libera do peptídeo opioide beta-casomorfina 7 (BCM-7). A BCM-7, por sua vez, é considerado um fator contribuidor de diversas doenças humanas, especialmente em indivíduos geneticamente predispostos (Corbucci, 2017). Porquanto, a comorbidade mais associada ao peptídeo é a alergia a proteína do leite (APL), que é quando o indivíduo sente desconforto digestivo pelo consumo da beta-caseína A1 contida no leite tradicional, diferente de intolerância a lactose, que é quando o indivíduo não produz a enzima lactase (Barbosa *et al.*, 2019).

Desse modo, o leite A2 é considerado um alimento de melhor digestão e está menos associado a problemas de saúde e vem sendo produzido junto a derivados lácteos em diversas fazendas no Brasil. Como a cadeia láctea A2 é recente no país, os produtos com selo A2 ainda é inacessível à maior parte da população, pois representa apenas 1% de toda cadeia láctea nacional, de acordo com Abraleite (Polastrini *et al.*, 2022). Portanto, é comum encontrar com mais

facilidade os produtos apenas em mercados regionais, próximos às fazendas produtoras ou em supermercados de grandes redes.

Além do leite, tem-se observado que é possível produzir diversos tipos de derivados lácteos com o selo A2, para que os consumidores possam incluir mais produtos não alergênicos à sua dieta. Essa tendência pode beneficiar os produtores de leite A2A2 e a indústria de laticínios, sendo necessário a exploração da criatividade, pesquisa e desenvolvimento para criação novos produtos. Diante do contexto, os produtores de laticínios que querem ter um diferencial competitivo no mercado, podem ingressar na oportunidade viável e promissora do setor, analisando os riscos e benefícios envolvidos (Polastrini *et al.*, 2022).

BASE GENÉTICA DA VARIAÇÃO A1/A2

Estudos indicam que houve uma mutação no DNA bovino em vacas, dando origem ao alelo A1 na Europa, fazendo com que surgissem novas conformações de genótipos, as quais ganharam espaço da constituição original dos rebanhos bovinos que até então só apresentavam o alelo A2 (Santos, 2023). Dessa forma, dois novos genótipos se disseminaram ao redor do mundo, A1A1 e A1A2. Basicamente, o alelo A2 apresenta uma sequência de nucleotídeos formado por códon CCT (citosina-citosina-timina), enquanto o alelo A1 é formado por uma sequência CAT (citosina-adenina-timina), essa diferença faz com que cada alelo codifique aminoácidos distintos na posição 67, que são a molécula prolina e histidina, respectivamente (Marino, 2021; Fonseca, 2023). De acordo com a literatura, o aminoácido His67 promove a liberação do peptídeo opioide beta-casomorfina 7 (BCM-7), durante a digestão.

A frequência genética do alelo A2 é mais encontrado em raças zebuínas, como Gir Leiteiro e Guzará, do que raças taurinas, como a raça Holandesa e Pardo-Suiça (Almeida, 2021). Diante desse cenário, o Brasil tem considerável vantagem, pois a predominância no rebanho no país é de animais *Bos indicus* (gado zebuino), o que permite maior disponibilidade de produtos A2 oriundos da exploração da pecuária brasileira. É importante destacar que enquanto os bovinos produzem leite com as variantes A1 e A2 da beta-caseína, o leite de cabra, ovelha e búfala são considerados naturalmente A2 (Corbucci, 2017; Oliveira, 2020). Em razão da variação genética, o leite oriundo dos genótipos A1A2

e A1A1 resultam em produtos lácteos geralmente sem especificação, pois é o mais comum de ser encontrado e o mais comercializado. Já o leite proveniente do genótipo A2A2, geralmente contém a especificação de leite de vacas A2A2, pois esse fato é utilizado como um diferencial no produto. Contudo, a variação se dá no âmbito da qualidade e nas características químicas, físico-químicas, bioquímicas e fisiológicas, conforme os diferentes tipos de leite apresentados. Atualmente, os agricultores de muitos países do mundo têm retomado o enfoque na produção de leite A2, resgatando o patrimônio genético original e vem sendo presente na alimentação da população que tem se expandido na preferência por este leite, pois é considerado um alimento de melhor digestão comparado ao leite A1 (Jeong *et al.*, 2023).

Paralelo a isso, estudos com objetivo de diferenciar a atuação dos lácteos no organismo humano por causa da diferença estrutural que apresentam, vêm sendo realizados no âmbito acadêmico, primordialmente porque envolvem a saúde da população que os consomem (Fernandez-Rico, 2022).

COMPOSIÇÃO DO LEITE A2A2

Segundo a Embrapa (2021), o leite é uma mistura homogênea de substâncias, contendo cerca de 87% de água e 12 a 13% de sólidos, dos quais se destacam lipídeos (3,9%), carboidratos (4,8%), proteínas (3,4%), sais minerais (0,8%) e vitaminas (0,8%). Esses percentuais podem variar conforme raça, estágio de lactação, idade e fatores externos como clima (Cruz *et al.*, 2016, p. 56).

A gordura do leite é formada majoritariamente por triglicerídeos, dos quais cerca de 70% são ácidos graxos saturados (Santin, 2019), que elevam o LDL ("colesterol ruim"), enquanto o HDL ("colesterol bom") auxilia na remoção do excesso de colesterol das artérias (Viana, 2024). O leite também fornece vitaminas lipossolúveis (A, D, E e K) e ácidos graxos poli-insaturados (Tinoco *et al.*, 2007), associados à redução do risco de doenças cardíacas coronarianas e de diabetes, além do ácido linoleico conjugado e do ácido oleico, este último relacionado à redução de LDL e aumento de HDL (Muehlhoff *et al.*, 2013; Carrara *et al.*, 2017; Lima, 2019; Pellegrini *et al.*, 2012).

A lactose, principal carboidrato do leite, é hidrolisada no intestino em glicose e galactose (Marino, 2021; Lima, 2019) e produzida no retículo endoplasmático da glândula mamária (Kresge; Simoni, 2006). Sua quantidade varia conforme a alimentação do rebanho e o estágio de lactação, sendo exigido teor mínimo de 4,3g/100g pela Instrução Normativa Nº 76/2018 do MAPA (Brasil, 2018; Marino, 2021). A fermentação da lactose é essencial na produção de leites fermentados, queijos, doce de leite, leite condensado e leite em pó (Cruz *et al.*, 2016, p. 75-76). A intolerância à lactose, causada pela não produção da enzima lactase, é uma das causas mais comuns de desconforto intestinal ao consumo de leite (Barbosa *et al.*, 2019), o que impulsionou o mercado de produtos “zero lactose”.

O leite também é fonte relevante de vitaminas hidrossolúveis (vitamina C e complexo B) e lipossolúveis (A, D, E e K) (Cruz *et al.*, 2016, p. 136), além de sais minerais como cálcio, potássio, fósforo, sódio e magnésio, importantes para a homeostase e o sistema ósseo (Marino, 2021), influenciando também textura, sabor e estabilidade de derivados como manteiga, iogurte e queijo (Cruz *et al.*, 2016, p. 106). O cálcio do leite é reconhecido por prevenir a osteoporose (Lima, 2019; Matía-Martín *et al.*, 2019).

No campo proteico, cerca de 80% das proteínas do leite são caseínas, fosfoproteínas de caráter ácido (Fox, 2015), enquanto a menor parte é composta por proteínas solúveis do soro, de alta digestibilidade, como a β -lactoglobulina, a α -lactoalbumina, a albumina do soro bovino e as imunoglobulinas (Haraguchi *et al.*, 2006). As caseínas se organizam em micelas, estruturas complexas e ainda alvo de diversos estudos (Jeong *et al.*, 2023), cujo manejo é essencial para o processamento de derivados lácteos (Cruz *et al.*, 2016, p. 16).

Por fim, as variantes A1 e A2 da beta-caseína diferem pela posição do aminoácido 67, histidina na A1 e prolina na A2 (Jaiswal *et al.*, 2014). Essa diferença faz com que a beta-caseína A1 sofra uma clivagem enzimática que libera o peptídeo opioide BCM-7, o que não ocorre na variante A2 (Kaskous, 2020), sendo esse peptídeo associado a efeitos negativos à saúde, como a alergia à proteína do leite. Vale destacar que a maior parte do leite comercializado contém uma mistura das duas variantes, salvo quando especificado o contrário.

Aspectos Bioquímicos

A beta-caseína, proteína de 209 aminoácidos e característica hidrofóbica, é codificada pelo gene CSN2 e apresenta os alelos A1 e A2, que resultam em diferentes implicações na composição, funcionalidade e comportamento de processamento de produtos lácteos (Daniloski *et al.*, 2022). A diferença estrutural entre as duas variantes está na posição 67: a A1 possui histidina, enquanto a A2 possui prolina, devido a um polimorfismo de nucleotídeo único (SNP) no éxon 7 do gene, em que o códon CCT (prolina) é substituído por CAT (histidina) na variante A1 (Fonseca, 2023). Essa diferença influencia o tamanho e as propriedades físicas das micelas de caseína, além de gerar peptídeos opioides distintos durante a digestão, as beta-casomorfina. Em especial, a beta-casomorfina-7 (BCM-7) é liberada apenas na digestão da beta-caseína A1 (Fonseca, 2023) e apresenta atividade semelhante à da morfina (Almeida, 2021), podendo atravessar a barreira sangue-intestino e afetar receptores opioides do organismo, sendo associada a diversas doenças, embora mais estudos ainda sejam necessários para confirmar essas relações (Jeong *et al.*, 2023).

Efeitos fisiológicos

No trato gastrointestinal, a ligação da BCM-7 aos receptores opioides reduz a motilidade intestinal, inibe a secreção gástrica, promove a contração da vesícula biliar e aumenta a produção de muco (Barbosa *et al.*, 2019; Ferreira *et al.*, 2024). Estudos pré-clínicos em animais sugerem ainda que a variante A1 pode desencadear inflamação grave, dependendo da concentração e dose (Kay *et al.*, 2021). Nesse contexto, destaca-se a diferença entre a alergia à proteína do leite de vaca (APLV), de sintomas gastrointestinais e respiratórios, e a intolerância à lactose, causada pela ausência da enzima lactase (Fontes, 2019; Sousa, 2022). A beta-caseína A1 também tem sido associada a diabetes mellitus tipo 1, doenças cardiovasculares (Kaplan *et al.*, 2022), autismo, síndrome da morte súbita infantil (Kaskous, 2020) e distúrbios neurológicos (Fernandez-Rico *et al.*, 2022), havendo inclusive relatos de redução de sintomas do espectro autista e de esquizofrenia associada à diminuição do consumo de leite com beta-caseína A1 (Cade *et al.*, 2000).

Por não apresentar esses efeitos, o leite A2 é comercializado, inclusive no Brasil, como alternativa para pessoas com desconforto gastrointestinal ao consumo de leite A1. Além de não causar os malefícios citados, o leite A2A2 beneficia a imunidade intestinal e a produção de antioxidantes, como a glutatona (Sousa, 2022), podendo ainda reduzir a concentração de LDL e o colesterol, contribuindo para a prevenção de doenças cardiovasculares (Hanusová *et al.*, 2010; Jaiswal *et al.*, 2014).

CARACTERÍSTICAS SENSORIAIS DO LEITE A2A2

As características sensoriais do leite envolvem as percepções de paladar, olfato e visão, devendo o produto se apresentar no estado líquido, homogêneo e livre de materiais estranhos, permitindo observar seu sabor, odor e cor característicos. Distingue-se sabor de gosto: o sabor resulta da combinação de paladar, tato e olfato, tornando a preferência alimentar mais subjetiva, enquanto o gosto é o estímulo dos receptores gustativos a partir de compostos químicos dissolvidos na saliva (Bolini; Silva, 2021, p. 310), classificado em doce, amargo, salgado, ácido e umami. O leite fresco apresenta gosto levemente adocicado, sem sabor estranho ou residual (Cruz *et al.*, 2016, p. 195), podendo o sabor ser influenciado pelo manejo dos animais e pelo processamento, já que sabores indesejáveis podem ser absorvidos após a pasteurização e a embalagem (Silva, 2020).

Quanto ao odor, o leite deve apresentar aroma suave e não acentuado, sendo influenciado por fatores como alimentos, meio ambiente, microrganismos e recipientes em contato com o produto (Silva, 2020). Já a cor decorre da natureza do leite como emulsão proteica de gordura em fase aquosa, com suspensão de partículas minerais coloidais insolúveis; as substâncias lipossolúveis conferem tonalidade amarelada à fase aquosa branca, resultando na coloração branco-amarelada opaca característica do leite (Cruz *et al.*, 2016, p. 197; Silva, 2020).

PRODUÇÃO DO LEITE A2A2 E INOVAÇÃO EM DERIVADOS LÁCTEOS

Para atender ao mercado de produtos não alergênicos e expandir o setor de laticínios, a produção do leite A2A2 vem ganhando destaque como nicho

capaz de agregar valor e diferenciar produtores bovinos no mercado. Antes da produção industrial, é necessário realizar a seleção e o mapeamento genético do rebanho, garantindo que o leite seja originário de vacas homozigotas A2A2, para então seguir as mesmas etapas do leite comum.

O mapeamento genético é feito coletando material biológico dos animais para envio a laboratórios especializados, que identificam o genótipo de cada vaca (A1A1, A1A2 ou A2A2). Pacchiarotti *et al.* (2020) descrevem o processo de certificação da fazenda Santa Rita (Agrindus), em Descalvado-SP, cujas amostras foram enviadas a um laboratório nos Estados Unidos para identificação dos animais exclusivamente A2A2, que foram segregados para formar rebanhos exclusivos; já as vacas A1 passaram a ser utilizadas apenas como receptoras de embriões A2A2, sem inseminação própria. Além da seleção genética, é essencial aplicar métodos de rastreabilidade para garantir a autenticidade do leite produzido. Segundo a Ciência do Leite (2023), já existe no mercado brasileiro um kit simples para identificar a presença ou ausência da beta-caseína A1 no leite; Diogo *et al.* (2023) utilizaram o "Teste Rápido de A2 - Scienco Biotech" (Kit Leite-A2), que fornece resultado em apenas 20 minutos, facilitando tanto a triagem dos rebanhos quanto a detecção de eventual contaminação com beta-caseína A1 nos derivados.

A produção industrial do leite A2 parte, portanto, da seleção de animais A2A2, seguindo os mesmos padrões de qualidade e segurança do leite comum, acrescidos do controle de originalidade genética. Entre os principais programas de melhoramento genético no Brasil, destacam-se o PNMGL, o PMGG, o PNMGuL e o PMGZ (Costa, 2022). Na sequência, o leite cru passa pelas etapas convencionais de tratamento térmico (pasteurização lenta, rápida ou UHT), padronização, homogeneização, embalagem e distribuição (Cruz *et al.*, 2016). Entretanto, um estudo de Mattioli (2024) identificou má qualidade microbiológica e físico-química em leites A2 pasteurizados tipo A, reforçando a importância das boas práticas de fabricação (BPFs) e do manejo adequado ao longo de toda a cadeia produtiva, para evitar a presença de microrganismos patogênicos e garantir a segurança do consumidor.

Derivados tipo A2A2

A partir do leite A2, é possível produzir diversos derivados lácteos com selo A2, como queijos, iogurtes, manteigas, cremes, requeijões e doces de leite, os quais mantêm expressiva composição de proteínas de alto valor biológico, importantes para o crescimento e desenvolvimento humano (Silva, 2020). Essa diversificação representa uma oportunidade de mercado para os produtores, que podem fidelizar clientes com alimentos de valor agregado à saúde a partir de uma matéria-prima associada a menores sinais de inflamação. Como exemplo, Silva *et al.* (2023) desenvolveram um Doce de Leite A2A2 a partir de leite UHT A2, com características sensoriais e físico-químicas semelhantes ao produto tradicional.

Segundo Daniloski *et al.* (2022), as diferenças entre os fenótipos da beta-caseína A1 e A2 também se refletem no processamento de derivados, já que os diferentes tamanhos de micela alteram a funcionalidade do leite: a variante A2 forma maior quantidade de espuma, porém mais fraca e instável, o que dificulta a coagulação do coalho na produção de queijos e iogurtes em comparação à variante A1, ainda que o leite A2 apresente maior digestibilidade. Os autores ressaltam a necessidade de mais estudos sobre o impacto dessas proteínas no processamento lácteo.

Para maior transparência ao consumidor, é comum que as embalagens tragam frases informativas sobre a origem do leite A2A2 e sobre a ausência de formação de BCM-7, alegações autorizadas pela Anvisa por meio da Resolução 3.980/2021 (Abraleite, 2021; Sousa, 2022). Nesse sentido, o estudo de Bentivoglio *et al.* (2020) mostrou que os consumidores reconhecem valor agregado nesses produtos e estão dispostos a pagar um preço premium, o que reforça o interesse do setor pela diversificação da linha de produtos A2. Internacionalmente, essa tendência já é observada em países como Austrália, Nova Zelândia, América do Norte, Europa e China, onde o leite A2 vem ganhando participação relevante no mercado (Fonseca, 2023).

Apesar disso, ainda há escassez de estudos aprofundados sobre a fabricação de derivados A2, seus efeitos no organismo humano e a experiência dos consumidores, assim como faltam indicadores sobre a real extensão desse mercado. Por se tratar de um nicho ainda recente, os produtos atualmente disponíveis

podem ser considerados precursores de um mercado com potencial de expansão, havendo espaço para o desenvolvimento futuro de queijos diversificados, fórmulas infantis, sorvetes, frozen yogurt e bebidas lácteas prontas, à medida que novas tecnologias e técnicas de produção forem implementadas.

CONSUMO, DINÂMICA SOCIAL E PROJEÇÕES DE MERCADO

A cadeia produtiva do leite A2 inicia-se pela seleção de animais homozigotos A2A2 e pelo melhoramento genético do rebanho, etapas anteriores à produção e comercialização propriamente ditas (Costa, 2022). Embora o mercado de leite A2 configure uma tendência crescente na indústria de laticínios, os relatos sobre a percepção dos consumidores brasileiros ainda são limitados, possivelmente por falta de marketing, baixa disponibilidade nas prateleiras ou desconhecimento sobre os benefícios do produto. Atualmente, o leite A2 representa apenas 1% da cadeia láctea nacional (Polastrini *et al.*, 2022), sendo produzido majoritariamente em pequena escala para mercados regionais (Santos; Pallone, 2023). Segundo a Milkpoint (2024), o setor enfrenta desafios relacionados a preços, rentabilidade, pesquisa e desenvolvimento, marketing, aceitação de mercado, regulamentação, certificação, processamento e distribuição.

Espera-se, contudo, que a experiência positiva de consumo, sem o desconforto gastrointestinal associado ao leite A1, converta consumidores e amplie o interesse por produtos com selo A2, alinhado à crescente exigência por qualidade sensorial e nutricional. A alergia à proteína do leite de vaca, mais comum em crianças, também é observada em adultos, atingindo entre 2% e 3% das crianças menores de 3 anos (Alergia ao Leite de Vaca, s.d.; Sociedade Europeia de Gastroenterologia, Hepatologia e Nutrição Pediátrica, 2012). O interesse pelo tema no Brasil, mensurado por buscas do termo “leite A2A2” no Google, atingiu pico em novembro de 2020 e voltou a crescer em 2023, provavelmente impulsionado por pessoas com alergia à proteína do leite (CILEite-Embrapa; Canal do Leite, 2024).

Quanto ao perfil do consumidor, Mendes *et al.* (2019) constataram que os brasileiros avaliam o queijo Minas Frescal A2 como mais macio e cremoso, mas raramente leem os rótulos para verificar o tipo de leite utilizado, hábito que ainda pode ser trabalhado, já que a identificação da origem A2A2 nos rótulos

só passou a ser exigida em 2019, e os esclarecimentos sobre o conteúdo do leite, apenas em 2021 com a Resolução 3.980 da Anvisa (Polastrini *et al.*, 2022).

No âmbito institucional, a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA) tem incentivado o setor: em 2019, firmou parceria com a Integral Certificações para o selo “VACAS A2A2”, com auditorias que garantem a rastreabilidade e evitam a mistura de leites de diferentes alelos (CNA Brasil, 2023), programa cuja pioneira foi a Fazenda Agrindus (SP), certificada desde 2018. Paralelamente, o programa independente #BEBAMAISLEITE, criado em 2016, lançou certificação de abrangência nacional voltada à rotulagem de leite industrializado com beta-caseína exclusivamente A2, com foco em conscientização e promoção do produto (CNA Brasil, 2019). Ambos os programas buscam suprir a ausência de regulamentação legal específica, ainda que com abordagens distintas.

Entrevistas conduzidas por Polastrini *et al.* (2022) revelam otimismo entre produtores quanto à tendência global por produtos mais selecionados e de melhor qualidade, mas também apontam dificuldades práticas: a parceria com indústrias exige certificação e investimento estrutural significativo, com retorno financeiro não imediato diante da demanda ainda reduzida. Apesar disso, as projeções são favoráveis, segundo a Custom Market Insights (2022), o mercado global de leite A2, avaliado em US\$ 2,2 bilhões em 2021, deve alcançar US\$ 4,80 bilhões até 2030, reforçando o potencial do segmento como diferencial competitivo para produtores de laticínios (Santos; Pallone, 2023).

CONCLUSÃO

O leite A2 destaca-se como uma alternativa de melhor digestibilidade em expansão global, embora ainda represente apenas 1% da cadeia láctea no Brasil. O país possui uma vantagem competitiva única para expandir esse mercado devido à predominância de raças zebuínas portadoras do gene A2, o que, aliado à busca dos consumidores por saudabilidade, abre caminhos para que a produção, hoje restrita a fazendas regionais, ganhe escala nas grandes indústrias. Para que essa transição ocorra, contudo, o setor precisa superar desafios complexos de regulamentação, viabilidade econômica e integração entre produtores e laticínios, utilizando as certificações existentes como porta de entrada.

O principal obstáculo para essa consolidação é o desconhecimento do consumidor sobre as diferenças de rotulagem e os benefícios de um produto livre da proteína beta-caseína A1, o que pode atrasar o retorno financeiro e gerar prejuízos aos produtores. Dessa forma, além do trabalho de seleção genética para fixar o genótipo A2A2 nos rebanhos, é indispensável que a indústria invista em campanhas de marketing educativo. Conscientizar o público sobre o diferencial do leite A2 é o passo fundamental para converter o potencial produtivo brasileiro em demanda real de mercado e impulsionar as vendas.

REFERÊNCIAS

ABRALEITE. **Ação da ABRALEITE leva Anvisa a publicar resolução sobre benefícios digestivos do leite A2.** Abraleite, 2021. Disponível em: <<https://www.abraleite.org.br/2021/10/25/acao-da-abraleite-leva-anvisa-a-publicar-resolucao-sobre-beneficios-digestivos-do-leite-a2/>>. Acesso em: 20 ago 2024.

ALMEIDA, Lorrane Pereira dos Reis. **Análises físico-químicas e microbiológicas em Leite A2A2 comercializado no DF.** 2021. 23 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Medicina Veterinária, UNICEPLAC. Gama – DF, 2021.

BARBOSA, M. G. *et al.* Leites A1 e A2: revisão sobre seus potenciais efeitos no trato digestório. **Segur. Aliment. Nutr.** Campinas, v. 26, p. 1-11. e019004. 2019. Doi: 10.20396/san.v26i0.8652981. Acesso em: 14 ago. 2024.

BENTIVOGLIO, D. *et al.* Existe um mercado promissor para o leite A2? Análise das preferências do consumidor italiano. **Sustainability**, v. 12, n. 6763, p. 1-16. 2020. Doi: 10.3390/su12176763. Acesso em: 10 set. 2024.

BOLINI, H. M. A.; SILVA, M. A. P. Gosto, sabor e percepções sensoriais. *In*: REYES, Felix Guillermo Reyes. 1 ed. **Umami e Glutamato: aspectos químicos, biológicos e tecnológicos.** São Paulo: Blucher, 2021. P. 309-320.

CADE, R. *et al.* Autism and Schizophrenia: Intestinal Disorders. **Nutritional Neuroscience**, v. 3, p. 57-72. 1999. Doi: 10.1080/1028415X.2000.11747303. Acesso em: 05 set. 2024.

CARRARA, E. R. *et al.* Fatty acid profile in bovine milk: its role in human health and modification by selection. **Archivos de Zootecnia**, Minas Gerais, v. 66, n. 253, p. 151-158. 2017.7.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. **Certificação da produção de leite e derivados de vacas A2A2.** CNA Brasil, 2023. Disponível em: <<https://www.cnabrazil.org.br/certificacao-da-producao-de-leite-e-derivados-de-vacas-a2a2>>. Acesso em: 20 set. 2024.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. **Protocolo vacas A2A2.** CNA Brasil, 2023. Disponível em: <<https://www.cnabrazil.org.br/protocolo-vacas-a2a2-2>>. Acesso em: 20 set. 2024.

CORBUCCI, F. S. **Beta-caseína A2 como um diferencial na qualidade do leite.** 2017. 23 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Araçatuba-São Paulo, 2017.

COSTA, R. de S. **Programas de melhoramento genético de bovino de leite no Brasil**. 2022. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza – CE, 2022.

CRUZ, A. G. da. *et al.* **Química, bioquímica, análise sensorial e nutrição no processamento de leite e derivados**. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016. V. 1. Coleção Lácteos.

DANILOSKI, D. *et al.* What is the impact of amino acid mutations in the primary structure of caseins on the composition and functionality of milk and dairy products? **Current Research in Food Science**, v. 5, p. 1701-1712. 2022. Doi: 10.1016/j.crfs.2022.09.026. Acesso em: 15 ago. 2024.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Anuário Leite 2024**. Embrapa Gado Leite, 2024. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1164754/1/Anuario-Leite-2024.pdf>> Acesso em: 14 out. 2024.

FERNANDEZ-RICO, S. *et al.* A2 Milk: New Perspectives for Food Technology and Human Health. **Foods**, v. 11, p. 1-20. 2022. Doi: 10.3390/foods11162387. Acesso em: 16 ago. 2024.

FERREIRA, V. N. P. *et al.* Efeito hipoalergênico das proteínas do leite A2A2. **Research, Society and Development**, v. 13, n. 5, e2513545732. 2024, P. 1-7. 2024. Doi: 10.33448/rsd-v13i5.45732. Acesso em: 05 set. 2024.

FONTES, F. O leite no mundo: tudo o que você precisa saber sobre leite A2. **Revista Leite Integral**, Belo Horizonte, jan. 2019. Disponível em: <<https://www.revistaleiteintegral.com.br/noticia/tudo-o-que-voce-precisa-sabersobreleite-a2>>. Acesso em: 10 set. 2024.

FONSECA, D. C. M. **Estudo alelos A1 e A2 para o gene da β -caseína sobre a produção, composição e frações proteicas do leite de vacas da raça Holandesa**. 2023. 159 f. Tese de Doutorado - Faculdade de zootecnia e engenharia de alimentos, Universidade de São Paulo. Pirassununga-SP, 2023.

FOX, P. F. *et al.* **Dairy Chemistry and Biochemistry**. 2 ed. Switzerland: Springer International Publishing, 2015. Disponível em DOI: 10.1007/978-3-319-14892-2. Acesso em: 17 ago. 2024.

HANUSOVÁ, E. *et al.* Genetic variants of beta-casein in Holstein Dairy cattle in Slovakia. **Slovak J. Anim. Sci.**, Eslováquia, v. 43 (2), p. 63-66. 2010.

HARAGUCHI, F. K. *et al.* Proteínas do soro do leite: composição, propriedades nutricionais, aplicações no esporte e benefícios para a saúde humana. **Rev. Nutr.**, Campinas, 19(4):479-488, jul./ago., 2006.

JAISWAL, K. P.; SARSAVAN, A. Review on bovine beta-casein (A1, A2) gene polymorphism and their potentially hazardous on human health. **International Journal of Environment & Animal Conservation**, India, v. 03, I. 01, 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/306401373>. Acesso em: 11 set. 2024.

JEONG, H. *et al.* A2 milk consumption and its health benefits: an update. **Food Science and Biotechnology**, 33: 491-503. 2023. Doi: 10.1007/s10068-023-01428-5. Acesso em: 15 ago. 2024.

KAPLAN, M. *et al.* Benefits of A2 Milk for Sports Nutrition, Health and Performance. **Frontiers in Nutrition**, Turquia, v. 9, a. 935344, jul. 2022. Doi: 10.3389/fnut.2022.935344. Acesso em: 20 ago. 2024.

KAY, S. S. *et al.* Beneficial Effects of Milk Having A2 β -Casein Protein: Myth or Reality? **The Journal of Nutrition Critical Review**, Miami, p. 1061-1072. 2021. Doi: 10.1093/jn/nxaa454. Acesso em: 20 ago. 2024.

KASKOUS, S. A1 and A2-Milk and Their Effect on Human Health. **Journal of Food Engineering and Technology**, Alemanha, v. 9(1), p. 15-21. 2020. Doi: 10.32732/jfet.2020.9.1.15. Acesso em: 17 ago. 2024.

KRESGE, N.; Simoni, R. D. Lactose Synthesis in the Mammary Gland: Lactose Synthase and the Work of Robert L. Hill. **The Journal of Biological Chemistry**, USA, v. 281, n. 6, p 6-8. 2006.

LIMA, M. A. da R. **Leite A2: Principais Aspectos**. 2019. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Graduação em Zootecnia, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza – CE, 2019.

MARINO, E. D. **Influência do polimorfismo do gene CSN-2 na produção e características do leite de vacas Holandesas**. 2021. 46 f. Dissertação de Mestrado – Faculdade de zootecnia e engenharia de alimentos, Universidade de São Paulo. Pirassununga-SP, 2021.

MATÍA-MARTÍN, P. *et al.* Effects of Milk and Dairy Products on the Prevention of Osteoporosis and Osteoporotic Fractures in Europeans and Non-Hispanic Whites from North America: A Systematic Review and Updated Meta-Analysis. **Suplement.**, v. 10, p. 120-143. Doi: 10.1093/advances/nmy097.

MATTIOLI, L. M. **Qualidade do leite A2 pasteurizado tipo A comercializado em Belo Horizonte, Minas Gerais**. 2024. 132 f. Dissertação para Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte-MG, 2024.

MENDES, M. O. *et al.* A2A2 milk: Brazilian consumers opinions and effect on sensory characteristics of Petit Suisse and Minas cheeses. **LWT - Food Science and Technology**, Bambuí-MG, v. 108, p. 207-213. 2019. Doi: 10.1016/j.lwt.2019.03.064. Acesso em: 19 ago. 2024.

MILKPOINT. **Leite A2 e o mercado brasileiro: desafios e perspectivas**. Milkpoint, 2024. Disponível em: <<https://www.milkpoint.com.br/colunas/ilctepamig/leite-a2-e-o-mercado-brasileiro-desafios-e-perspectivas-236333/>>. Acesso em: 21 ago. 2024.

MUEHLHOFF, E. *et al.* **Milk and dairy products in human nutrition**. 1. ed. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013. 374 p.

PACCHIAROTTI, V. L. *et al.* Produção do leite A2 e melhoramento genético do rebanho. **Revista Interdisciplinar de Saúde e Educação**. v. 1, n. 2.

PELLEGRINI, L. G. de. *et al.* Análise do perfil de ácidos graxos do leite bovino, caprino e ovino. **Synergismus Scyentifica UTFPR**, Pato Branco, v. 7, n. 1, p. 1-3, 2012.

POLASTRINI, A. *et al.* The A2 milk as an upgrading strategy in the cattle global value chain in Brazil. **Desenvolvimento em debate**, v. 10, n.2, p.119-145, maio-ago. 2022. Doi: 10.51861/ded.dmvdo.2.107. Acesso em: 24 set. 2024.

SANTOS, B. M. **Aspectos genéticos e produtivos do leite A2A2: Revisão da literatura**. 2023. 23 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Medicina Veterinária, UNICEPLAC. Gama-DF, 2023.

SANTIN, I. J. *et al.* Milk Fatty Acids Profile and the Impact on Human Health. **Journal of Dairy & Veterinary Sciences**, Universidade de Santa Catarina, v. 10(1): 555779. 2019. Doi: 10.19080/JDVS.2019.10.555779. Acesso em: 21 set. 2024.

SANTOS, A. C. C. *et al.* Leite A2: Aspectos químicos, bioquímicos, efeitos na saúde e mercado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos: o avanço da Ciência no Brasil**. Editora Científica Digital, v. 3. 2023. P. 280-292.

SILVA, C. G. da. **Características dos diferentes tipos de leite com ênfase na proteína beta-caseína de alelo A2 para o consumo de indivíduos alérgicos ao leite e seus derivados**. 2020. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Tecnologia de Mococa. Mococa-SP, 2020.

SOUSA, F. A. L. **Diferenciais do leite A2A2 e aplicabilidade**. 2022. 19 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Botucatu, 2022.

TINOCO, S. M. B. *et al.* Importância dos ácidos graxos essenciais e os efeitos dos ácidos graxos trans do leite materno para o desenvolvimento fetal e neonatal. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 23(3), p. 525-534, mar. 2017.

VIANA, F. de C. **Os exames laboratoriais e sua importância como prevenção à saúde**. 2024. 27f. Projeto de Conclusão de Curso – Faculdade FASIPE. Cuiabá-MT, 2024.

ATUAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE *Rosmarinus officinalis* NO FRESCOR E PRESERVAÇÃO OXIDATIVA DA CARNE REFRIGERADA DE *Cyprinus carpio*

Alexandra Pretto

Universidade Federal do Pampa (Unipampa)

Carlos Frederico Ceccon Lanes

Universidade Federal do Pampa (Unipampa)

Cristiano Miguel Stefanello

Universidade Federal do Pampa (Unipampa)

Aline Monique Blank do Amaral

Universidade Federal do Pampa (Unipampa)

Fernanda Rodrigues Goulart Ferrigolo

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

Maria Eduarda Aude de Brum

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

Jane Mello Lopes

Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Odair dos Santos Monteiro

Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes concentrações de óleo essencial (OE) de *Rosmarinus officinalis* (alecrim) em solução aquosa, sobre características de frescor e estabilidade oxidativa em filés de *Cyprinus carpio* (carpa comum). Os filés, obtidos por filetagem manual, foram lavados em água corrente e reservados. O OE de alecrim foi diluído em água, propilenoglicol e tween, para compor os seguintes tratamentos: 0 (controle); 0,5 ou 1,0% em solução. As amostras de carne permaneceram imersas nos tratamentos durante 30 min, a seguir foram drenadas, embaladas em sacos plásticos e refrigeradas ($\pm 0,36$ °C). Aos 0, 7 e 14 dias foram avaliados o pH, concentração de bases nitrogenadas voláteis totais (BNVT), peróxidos e substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS). A utilização do OE de alecrim, nas concentrações de 0,5 e 1,0%, minimizou o aumento do pH nos filés de carpa comum, mas não protegeu a formação de BNVT, que aumentaram em todos os tratamentos durante a armazenagem sob refrigeração. Menores concentrações de peróxidos e TBARS foram verificados aos 14 dias de armazenagem na carne exposta aos tratamentos com OE de alecrim. Em suma, a concentração 0,5% de OE alecrim pode ser indicada como a mais eficiente para prevenir a oxidação das gorduras e o aumento de pH na carne de carpa comum.

Palavras-chave: óleo de alecrim; qualidade de pescado; oxidação de gorduras; vida de prateleira.

INTRODUÇÃO

Os pescados (crustáceos, moluscos e peixes) são considerados alimentos valiosos para a dieta humana devido a todos os nutrientes que fornecem. São reconhecidos como uma fonte de proteína de alto valor biológico, elevada digestibilidade, baixa densidade calórica e alto teor de ácidos graxos poliinsaturados se comparados a outras proteínas animais (TILAMI e SAMPELS, 2018). A presença de concentrações elevadas de ácidos graxos da série ômega-3 (ácido eicosa-pentaenóico - EPA e docosahexaenóico - DHA) faz do pescado um importante aliado da saúde humana, ajudando a suportar funções neurológicas e prevenir doenças cardiovasculares, inflamatórias e câncer (ABRAHA *et al.*, 2018; VIANNA *et al.*, 2020). Além disso, outros nutrientes são encontrados em concentrações significativas no pescado e beneficiam fortemente nossa saúde como taurina, colina, vitaminas (A, D3, B12) e minerais (cálcio, fósforo, iodo, selênio, ferro, zinco) (TILAMI e SAMPELS, 2018; MOHANTY *et al.*, 2019; VIANNA *et al.*, 2020).

A indústria de alimentos tem uma preocupação constante com a conservação e a qualidade dos produtos que chegam ao consumidor final. O pescado é umas das carnes de mais rápida deterioração. Sua degradação é favorecida por características intrínsecas (elevada atividade de água, pH próximo à neutralidade, alto teor de ácidos graxos insaturados), além da atuação de enzimas, bactérias e oxigênio molecular (SOARES e GONÇALVES, 2012; TSIRONI *et al.*, 2020; HUSSAIN *et al.*, 2021). Por isso, é necessário aplicar tratamento adequado para preservar os nutrientes do pescado, podendo ser aqueles que envolvem baixa temperatura (congelamento, resfriamento), alta temperatura (defumação, secagem, enlatamento), salga, diferentes formas de embalagem (vácuo, atmosfera modificada, irradiação, alta pressão), e/ou suas combinações (ABRAHA *et al.*, 2018; TSIRONI *et al.*, 2020). Apesar de serem necessários, estes tratamentos não são suficientes para evitar o desenvolvimento de reações microbianas e oxidativas (HUSSAIN *et al.*, 2021). Os conservantes sintéticos (BHT, BHA, nitrito de sódio, benzoato de sódio, sorbato de potássio, EDTA), apesar de serem efetivos a baixas concentrações e não influenciarem características organolépticas da carne, têm tido o uso desaconselhado, devido sua relação com o aparecimento de doenças como o câncer (HAO *et al.*, 2021; COIMBRA *et al.*, 2022). Por isso, nos últimos anos, a indústria de alimentos junto com instituições de pesquisa vem

trabalhando para encontrar conservantes naturais que possam ser usados para substituir estas moléculas e atender à crescente demanda dos consumidores por alimentos saudáveis e seguros (SILVA *et al.*, 2021; LI *et al.*, 2022).

Os óleos essenciais (OEs) extraídos de plantas ou ervas tem sido alvo de diversos estudos devido seu potencial para aplicação na preservação de alimentos. Suas propriedades químicas como a presença de moléculas antioxidantes e antimicrobianas, além do fato de serem caracterizados como produtos naturais e seguros revelam o caráter promissor destes compostos (HAO *et al.*, 2021; LI *et al.*, 2022; PRESENZA *et al.*, 2023; YANG *et al.*, 2023). Alguns óleos essenciais aplicados em estudos para conservar o pescado fresco são óleo de cravo, orégano, tomilho, sálvia, anis estrelado, menta, limão, laranja e alecrim (HAO *et al.*, 2021; HUSSAIN *et al.*, 2021).

O alecrim (*R. officinalis*) é uma planta cultivada mundialmente e tradicionalmente aplicada na culinária e na indústria de cosméticos. As propriedades químicas presentes no óleo essencial extraído do alecrim revelam, entre outras ações, capacidade antimicrobiana e antioxidante, o que possibilita desenvolver estudos sobre sua utilização para a preservação de pescados (PRESENZA *et al.*, 2023). De acordo com Ozogul *et al.* (2017), as moléculas encontradas em maior concentração no OE de alecrim foram 1,8 cineol, α -pineno e cânfora, mas variações na concentração destas moléculas ou na composição química do OE pode ocorrer de acordo com as condições ambientais, agronômicas ou com o método de extração utilizado (SADEH *et al.*, 2019; MICIĆ *et al.*, 2021).

As formas de aplicação dos óleos essenciais sobre pescados frescos ou congelados podem ser a aplicação direta de determinada concentração através de imersão, spray, gotejamento ou vaporização, com variação na concentração dos compostos bioativos avaliados. Nestes casos, as moléculas podem penetrar diretamente através da superfície da carne (PRESENZA *et al.*, 2023). No presente estudo pesquisamos o efeito de diferentes concentrações de óleo essencial de *Rosmarinus officinalis* em solução aquosa para imersão de filés de carpa comum, a fim de avaliar características de frescor e estabilidade oxidativa na carne armazenada sob refrigeração.

MÉTODO

O estudo foi conduzido no Centro de Tecnologia em Pesca e Aquicultura da Universidade Federal do Pampa, *Campus* Uruguaiana e todos os procedimentos adotados em relação aos animais foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal do Pampa (protocolo n° 004/2019).

Análise do óleo essencial

O óleo essencial de alecrim foi adquirido da empresa Vimontti (Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil) e sua constituição foi analisada em cromatógrafo gasoso acoplado a espectrofotômetro de massas (GCMS; QP2010, Shimadzu, Tóquio, Japão), equipado com software GCMS. A identificação dos componentes baseou-se no tempo e índice de retenção linear (série de n-alcenos C8-C40), na interpretação e comparação dos espectros de massa obtidos com Adams (2007), Bibliotecas NIST (2011) e FFNSC 2 e descritas detalhadamente por Fernandes *et al.* (2021).

Depuração e filetagem dos peixes

Exemplares de *C. carpio var.* comum com tamanho médio de 568 ± 140 g e $31,9 \pm 2,7$ cm foram mantidos em tanques de depuração por 48 horas (densidade de 6,2 g/L). Neste processo, a água foi renovada a uma taxa média de 6 litros por minuto. O oxigênio dissolvido e a temperatura da água foram analisados diariamente e os valores médios encontrados foram $5,50 \pm 1,81$ mg/L e $22,00 \pm 0,85^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Passado o período de depuração, os peixes foram abatidos por hipotermia (proporção água:gelo 1:1), pesados e filetados. Neste processo foi observado redução de 2,4% no peso dos peixes e o rendimento médio de filé foi 25% do peso vivo. Os filés foram lavados em água corrente e depois em água contendo 10 ppm de cloro e reservados.

Preparo e aplicação de concentrações de óleo essencial em filé

O óleo essencial de alecrim com densidade 0,88 g/mL, foi diluído e emulsificado em uma solução contendo 80% de água destilada, 20% de propilenoglicol e 0,05% de tween. As concentrações de óleo essencial (OE) testadas foram: 0 (controle); 0,5 ou 1,0% em solução. As amostras de carne (750 g para cada

tratamento) permaneceram imersas durante 30 minutos em cada um destes tratamentos. Foi utilizada a proporção solução:carne de 2:1. Após a exposição, os filés de cada tratamento foram drenados em uma grade por 5 minutos, embalados em sacos plásticos e armazenados refrigerados a $\pm 0,36^{\circ}\text{C}$ para análise de parâmetros de qualidade de carne.

Análises de frescor da carne

As amostras de filé foram analisadas nos dias 0 (inicial) e após 7 e 14 dias de refrigeração. O pH foi avaliado com o uso de pHmetro portátil para carnes (Akso Produtos Eletrônicos, RS, Brasil).

A determinação de bases nitrogenadas voláteis totais (BNVT) foi realizada seguindo a metodologia proposta por Savay da Silva *et al.* (2008). Para tanto, 50 g de amostra foram homogeneizadas em solução de ácido tricloroacético 5% (1:3 p:v) por 1 min. A seguir, 10 mL da solução filtrada foi transferida para um tubo de destilação contendo 1 g de óxido de magnésio e 20 mL de água destilada. O produto destilado (100 mL) foi recebido em solução de ácido bórico e indicador misto e titulado com solução de ácido sulfúrico 0,01 N para determinação de amônia e aminas voláteis.

Análises de estabilidade oxidativa da carne

O conteúdo de peróxidos foi determinado através de metodologia proposta por Chapman e Mackay (1949). Para tanto, a gordura dos filés foi extraída conforme Bligh e Dyer (1959) e amostras de gordura (200 μL) foram dissolvidas em mistura de benzeno:metanol (70:30 v:v), seguido da adição de tiocianato de amônio 30% (10 μL) e cloreto ferroso (10 μL). A seguir as amostras foram incubadas a 50°C durante 2 min e a coloração lida a 520 nm. A curva padrão foi construída com solução de concentração conhecida de ferro (0,7 a 7,1 μmol).

As substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) foram avaliadas conforme Buege e Aust (1978). Primeiramente, 1 g de amostra foi homogeneizada em solução de cloreto de potássio 1,15% (1:5 p:v) e a solução centrifugada por 10 min a 1000 g. Uma alíquota do centrifugado (0,75 mL) foi incubada em banho maria a 100°C por 15 min com solução de ácido tricloroacético 30% e ácido tiobarbitúrico 0,67%. Depois de resfriados, foi adicionado a cada tubo,

1,5 mL de álcool n-butílico para extrair o produto corado e a leitura ocorreu a 535 nm. A curva padrão foi produzida com solução de malondialdeído (MDA) (0,6 a 12 nmol).

Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos a teste de normalidade, seguido pela análise de variância de duas vias (concentração de óleo essencial e tempo de refrigeração). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), utilizando para estas análises o programa Statistica 7.0.

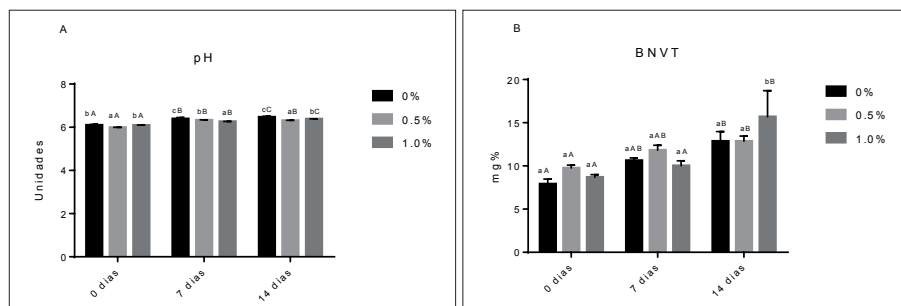
RESULTADOS

A análise do OE de alecrim revelou que os constituintes majoritários presentes são α -pineno (15,73%), cânfora (13,63%) e 1,8 cineol ou eucaliptol (10,35%) que representam aproximadamente 40% da constituição. Como constituintes intermediários foram encontrados canfeno (9,12%), acetato de bornila (8,91%), limoneno (5,4%), β -pineno (5,06%) e β -mirceno (4,97%) e em menor concentração óxido de cariofileno (3,99%), p -cimeno (3,53%), borneol (3,26%) e linalool (1,81%).

Em relação aos parâmetros analisados para verificar o frescor da carne, o pH mostrou menores valores na carne no tratamento 0,5% OE a partir do período inicial de avaliação até os 14 dias de refrigeração, em relação ao tratamento 0% (controle). Os filés tratados com 1,0% OE em solução apresentaram valores menores de pH após 7 e 14 dias sob refrigeração, sem diferir do tratamento controle no período inicial de avaliação (Figura 1A). Ao longo do tempo de refrigeração os valores de pH aumentaram. Inicialmente os valores ficaram na faixa entre 5,99 a 6,10 unidades; após 7 dias foram observados valores entre 6,26 a 6,39 e após 14 dias, os valores encontrados permaneceram entre 6,31 a 6,47 unidades.

Em relação às BNVT, não foram observadas diferenças significativas entre as amostras dos distintos tratamentos no período inicial e após 7 dias de refrigeração (Figura 1B). Após 14 dias sob refrigeração, amostras do filé tratado com 1,0% OE apresentaram valores mais elevados em relação aos tratamentos 0 e 0,5% OE. A concentração de BNVT dos filés aumentou em todos os tratamentos após 14 dias sob refrigeração (período inicial: 7,9 a 9,7 mg%; 7 dias: 10,0 a 11,8 mg%; 14 dias: 12,8 a 15,7 mg%).

Figura 1 - Valores de pH (A) e Bases Nitrogenadas Voláteis Totais (B) em filés de carpa comum mantidos sob refrigeração, após aplicação de OE de *Rosmarinus officinalis*.



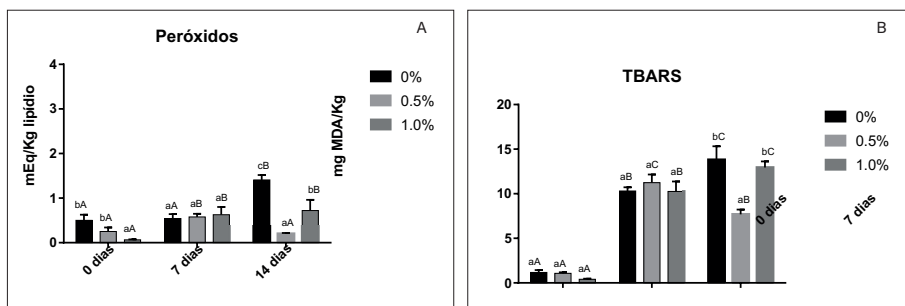
Resultados são expressos como média $\pm$ desvio padrão ($n = 4$). Letras minúsculas indicam significantes diferenças entre tratamentos dentro do mesmo período de tempo pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas indicam significantes diferenças ao longo dos períodos de refrigeração e dentro do mesmo tratamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: A autora.

Na avaliação inicial, o conteúdo de peróxidos foi similar nos filés expostos a 0% e 0,5% OE, porém menor concentração foi observada nos filés expostos a 1,0% OE alecrim. Neste período, as concentrações de peróxidos variaram entre 0,06 a 0,50 mEq/g lipídeo (Figura 2A). Após 7 dias sob refrigeração, as amostras de filé apresentaram valores similares de peróxidos entre todos os tratamentos (0,54 a 0,63 mEq/g lipídeo). No último período de avaliação (14 dias), houve expressivo aumento na concentração de peróxidos nos filés no tratamento 0% OE (1,41 mEq/g lipídeo) e concentrações mais baixas (0,20 a 0,70 mEq/g lipídeo) nos filés expostos a 0,5 ou 1,0% OE alecrim (Figura 2A).

A avaliação de TBARS, referente aos metabólitos formados na segunda etapa de oxidação da gordura como o malondialdeído (MDA), não revelou alterações significativas entre as amostras de filé dos diferentes tratamentos na avaliação inicial e após 7 dias de refrigeração (Figura 2B). No entanto, foi observado expressivo aumento na concentração deste parâmetro no decorrer do tempo de armazenagem (inicial: 0,4 a 1,18 mg MDA/Kg; 7 dias: 10,2 a 10,3 mg MDA/Kg; 14 dias: 7,7 a 13,8 mg MDA/Kg). Após 14 dias sob refrigeração, os filés que foram tratados com 0% ou 1,0% OE alecrim apresentaram valores mais elevados de TBARS em relação aos filés tratados com 0,5% OE (Figura 2B).

Figura 2 - Valores de peróxidos (A) e Substâncias Reativas ao Ácido Tiobarbitúrico (TBARS) (B) em filés de carpa comum mantidos sob refrigeração, após aplicação de OE de *Rosmarinus officinalis*.



Resultados são expressos como média $\pm$ desvio padrão ($n = 4$). Letras minúsculas indicam significantes diferenças entre tratamentos dentro do mesmo período de tempo pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas indicam significantes diferenças ao longo dos períodos de refrigeração e dentro do mesmo tratamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: A autora.

DISCUSSÃO

Os principais constituintes encontrados no óleo de alecrim utilizado no presente estudo foram α -pineno (15,7%), cânfora (13,6%) e 1,8 cineol (10,3%). Micić *et al.* (2021) encontraram as moléculas de α -pineno (23%), eucaliptol (17,7%) e cânfora (14,3%) como constituintes majoritários em OE de alecrim extraído de plantas originárias da Sérvia. Ao avaliarem 33 variedades de alecrim cultivados durante 30 anos em um centro de pesquisa localizado ao norte de Israel, Sadeh e colaboradores (2019) verificaram que existiam quatro grupos diferenciados de plantas, com os seguintes constituintes majoritários no óleo essencial: 1) 25,7% verbenona, 21,1% α -pineno e 10,2% acetato de bornila; 2) 21,7% α -pineno, 13,1% borneol e 11,6% 1,8 cineol; 3) 55,6% cânfora, 11,9% α -pineno e 9,7% 1,8 cineol; 4) 36,4% 1,8 cineol, 19,9% cânfora e 9% α -pineno. Nesse sentido, observa-se que a composição química do OE pode variar dependendo das características genéticas da planta, localização geográfica, clima e condições de cultivo (SADEH *et al.*, 2019; MICIĆ *et al.*, 2021). Além disso, outros fatores que influenciam a constituição são a parte da planta utilizada e o método de extração empregado (KONFO *et al.*, 2023; CHETIA *et al.*, 2025). De acordo com a revisão realizada por Yang *et al.* (2023), a aplicação de hidrodestilação extraiu principalmente α -pineno, canfeno e borneol e a extração supercrítica com solvente resultou em óleo contendo cânfora e eucaliptol como constituintes majoritários do OE de alecrim.

Os constituintes majoritários encontrados no OE alecrim (α -pineno, cânfora e 1,8 cineol) são associados na literatura com ações antioxidante, antimicrobiana e antiinflamatória (CHETIA *et al.*, 2025). Essas propriedades são altamente desejáveis para a conservação dos nutrientes e da qualidade do pescado (ROOMIANI *et al.*, 2019; PIEROZAN *et al.*, 2024). A qualidade nutricional dos pescados e sua aceitação está fortemente relacionada à sua composição centesimal e a todos os processos aplicados ao longo do processo produtivo e de abate (GONÇALVES, 2011). A avaliação do grau de frescor da carne de peixes pode ser realizada através de parâmetros sensoriais, físico-químicos e microbiológicos (SOARES e GONÇALVES, 2012). A avaliação sensorial é um método antigo e subjetivo, mas que é bastante utilizada para inspeção do pescado. Indicadores físico-químicos para avaliar o frescor como o pH e a análise de bases nitrogenadas voláteis totais (BNVT) são parâmetros objetivos em que podem ser quantificados os compostos formados durante os processos de degradação da carne (SOARES e GONÇALVES, 2012).

A legislação brasileira (BRASIL, 2017), prevê que o pescado, para ser considerado fresco, deve ter pH inferior a 7,0 e a concentração de BNVT inferior a 30 mg%, e peixes em excelente estado de frescor devem apresentar entre 5 e 10 mg% de BNVT. Assim, a partir dos valores observados para pH e BNVT, pode-se inferir que os filés de carpa comum, mantidos refrigerados por 14 dias, em todos os tratamentos avaliados, apresentavam-se em estado de frescor desejável. Mesmo estando dentro dos valores preconizados pela legislação, o pH e a concentração de BNVT aumentaram nos filés ao longo do período de refrigeração, em todos os tratamentos avaliados. A elevação nestes parâmetros está relacionada à decomposição da carne causada por enzimas e bactérias, resultando na produção de uma série de metabólitos nitrogenados e de caráter alcalino como trimetilamina, dimetilamina e amônia (OZOGUL *et al.*, 2017). O aumento na formação dos metabólitos nitrogenados, quantificados como BNVT, e sua velocidade de formação, tem relação direta com o aumento da carga microbiana na carne de peixe armazenada refrigerada e representam a etapa de frescor microbiológico que ocorre no período pós rigor mortis (RESENDE-de-SOUZA e SAVAY-da-SILVA, 2021). No presente estudo, a utilização do OE de alecrim, nas concentrações de 0,5 e 1,0%, minimizou o aumento do pH nos filés de carpa comum, mas não teve o mesmo efeito sobre a formação das BNVT. A aplicação

das concentrações de 1 e 3% de óleo de alecrim na carne de *Oncorhynchus mykiss* reduziu a formação de amins biogênicas após 3 e 9 dias sob refrigeração, em relação às amostras controle (sem adição de OE). Nesse estudo, os autores aplicaram o óleo essencial diluído em água e este foi mantido junto com a carne durante todo o período (PEIRETTI *et al.*, 2012), diferente da exposição momentânea (30 minutos) realizada no presente estudo. Pretto *et al.* (2024) observaram que a exposição ao OE de *Mentha piperita* (0,25 e 0,50%) durante 60 minutos resultou em alterações no pH da carne do peixe híbrido tambatinga após 7 e 14 dias sob refrigeração, mas nenhuma alteração foi observada na concentração das BNVT, semelhante à situação observada no presente estudo.

A oxidação lipídica é problemática para a deterioração do pescado e envolve reações espontâneas do oxigênio com os lipídeos (processo primário ou auto-oxidação) gerando radicais livres como peróxidos e hidroperóxidos e em uma segunda etapa, estas moléculas reagem com metais, luz ou calor gerando álcoois, aldeídos cetonas e ésteres (MATTJE *et al.*, 2019; RIBEIRO *et al.*, 2019). Todas essas moléculas contribuem para alterar o sabor, odor e textura de carnes e pescados. No presente estudo, a exposição ao EO alecrim (tratamentos 0,5 e 1,0%) foi capaz de reduzir a formação de peróxidos na carne após 14 dias sob refrigeração, em comparação ao tratamento controle. A redução destas moléculas também pode ser explicada pela sua quebra em produtos secundários de oxidação, como os aldeídos (malondialdeído) determinados a partir da análise de TBARS, que aumentou no último período de avaliação (14 dias), especialmente nos tratamentos controle e 1,0% de OE. A concentração de 0,5% de OE alecrim pode ser considerada mais eficiente para prevenir a oxidação das gorduras, tendo em vista as análises de peróxidos e TBARS na carne de carpa comum.

A exposição de filés de *Dicentrarchus labrax* ao extrato de alecrim durante 10 minutos resultou em menor formação de TBARS durante os 13 dias de avaliação em que a carne refrigerada foi avaliada (ALTINELATAMAN *et al.*, 2015). De modo semelhante, filés de *Pangasius* expostos por 10 minutos a diferentes concentrações (0,5; 1,0; 1,5 ou 2,0%) de extrato produzido a partir da alga marinha *Padina tetrastratica* apresentaram menores valores de TBARS em relação ao tratamento controle (0% de extrato de alga) durante a armazenagem da carne

refrigerada por 20 dias (DEEPHITA *et al.*, 2021). Segundo os autores, a presença de compostos fenólicos no extrato aquoso preparado a partir da alga retardou a formação dos compostos voláteis de oxidação lipídica na carne. O óleo essencial de *M. piperita*, nas concentrações de 0,25 e 0,50% também contribuiu para reduzir a formação de peróxidos e TBARS na carne do peixe híbrido tambatinga durante 14 dias em armazenagem sob refrigeração (PRETTO *et al.*, 2024). Neste estudo, a concentração de 0,50% de OE foi considerada mais eficaz para reduzir a deterioração da carne, tendo em vista que neste tratamento também foi observada menor formação de colônias de microorganismos mesófilos aeróbios estritos e facultativos ao longo da armazenagem da carne.

CONCLUSÃO

Os constituintes majoritários encontrados no OE de alecrim foram α -pineno, cânfora e 1,8 cineol. A aplicação deste OE em filés de carpa comum mostrou efeito sobre o pH durante todo o período de armazenagem, mas não preveniu a formação de BNVT. A ação do OE sobre a oxidação das gorduras da carne foi verificada no tratamento 0,5% após 14 dias sob refrigeração, podendo este tratamento ser apontado como o mais eficaz para manter a qualidade da carne de carpa comum nas condições do presente estudo.

REFERÊNCIAS

- ABRAHA, B.; ADMASSU, H.; MAHMUD, A.; TSIGHE, N.; SHUI, X. W.; FANG, Y. Effect of processing methods on nutritional and physico-chemical composition of fish: a review. **MOJ Food Processing & Technology**, v. 6, n. 4, p. 376-382, 2018.
- ADAMS, R. P. **Identification of essential oil components by gas chromatography/quadrupole mass spectroscopy**. 4. ed. Carol Stream, IL: Allured Publishing Corporation, 2007. 804 p.
- ALTINELATAMAN, C.; KISLA, D.; KILINC, B.; YILMAZ, E. B. S.; YÜNLÜ, T.; ÇELİK, U. Antioxidant, antimicrobial and sensorial effects of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) and sage (*Salvia officinalis* L.) on sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) fillets. **Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 32, n. 3, p. 121-126, 2015.
- BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v. 37, p. 911-917, 1959.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa n. 62, de 26 de agosto de 2003**. Dispõe sobre os métodos analíticos oficiais para análises microbiológicas para controle de produtos de origem animal e água. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 18 set. 2003. Seção 1. Disponível em: <https://www.normasbrasil.com.br/norma/instrucao-normativa-62-200375165.html>. Acesso em: 21 mar. 2025.

BUEGE, J. A.; AUST, S. D. Microsomal lipid peroxidation. **Methods in Enzymology**, v. 52, p. 302-310, 1978.

CHAPMAN, R. A.; MACKAY, K. The estimation of peroxides in fats and oils by the ferric thiocyanate method. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 26, p. 360-363, 1949.

COIMBRA, A.; FERREIRA, S.; DUARTE, A. P. Biological properties of *Thymus zygis* essential oil: emphasis on antimicrobial activity and food application. **Food Chemistry**, v. 393, p. 133370, 2022.

DEEPITHA, R. P.; MARTIN XAVIER, K. A.; LAYANA, P.; NAYAK, B. B.; BALANGE, A. K. Quality improvement of pangasius fillets using aqueous seaweed (*Padina tetrastromatica*) extract. **LWT – Food Science and Technology**, v. 137, p. 110418, 2021.

FERNANDES, Y. M. L.; MATOS, J. V. S.; LIMA, C. A.; TARDINI, A. M.; VIERA, F. A. P.; MAIA, J. G. S.; MONTEIRO, O. S.; LONGATO, G. B.; ROCHA, C. Q. Essential oils obtained from aerial *Eugenia punicifolia* parts: chemical composition and antiproliferative potential evidenced through cell cycle arrest. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 32, n. 7, p. 1381-1390, 2021.

HAO, R.; ROY, K.; PAN, J.; SHAH, B. R.; MRAZ, J. Critical review on the use of essential oils against spoilage in chilled stored fish: a quantitative meta-analyses. **Trends in Food Science & Technology**, v. 111, p. 175-190, 2021.

HUSSAIN, Md. A.; SUMON, T. A.; MAZUMDER, S. K.; ALI, M. M.; JANG, W. J.; ABUALREESH, M. H.; SHARIFUZZAMAN, S. M.; BROWN, C. L.; LEE, H.-T.; LEE, E.-W.; HASAN, Md. T. Essential oils and chitosan as alternatives to chemical preservations for fish and fisheries products: a review. **Food Control**, v. 129, 108244, 2021.

LI, Y.-X.; ERHUNMWUNSEE, F.; LIU, M.; YANG, K.; ZHENG, W.; TIAN, J. Antimicrobial mechanisms of spice essential oils and application in food industry. **Food Chemistry**, v. 382, 132312, 2022.

MATTJE, L. G. B.; TORMEN, L.; BOMBARDELLI, M. C. M.; CORAZZA, M. L.; BAINY, E. M. Ginger essential oil and supercritical extract as natural antioxidants in tilapia fish burger. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 43, e13942, 2019.

MICIĆ, D.; ĐUROVIĆ, S.; RIABOV, P.; TOMIĆ, A.; SOVLJANSKI, O.; FILIP, S.; TOST, T.; DOJČINOVIĆ, B.; BOŽOVIĆ, R.; JOVANOVIĆ, D.; BLAGOJEVIĆ, S. Rosemary essential oils as a promising source of bioactive compounds: chemical composition, thermal properties, biological activity, and gastronomical perspectives. **Foods**, v. 10, 2734, 2021.

NIST/EPA/NIH. **Mass Spectral Library 2011**. 5. ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2011.

OZOGUL, Y.; YUVKA, I.; UCAR, Y.; DURMUS, M.; KÖSKER, A. R.; ÖZ, M.; OZOGUL, F. Evaluation of effects of nanoemulsion based on herb essential oils (rosemary, laurel, thyme and sage) on sensory, chemical and microbiological quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets during ice storage. **LWT – Food Science and Technology**, v. 75, p. 677-684, 2017.

PEIRETTI, P. G.; GAI, F.; ORTOFFI, M.; AIGOTTI, R.; MEDANA, C. Effects of rosemary oil (*Rosmarinus officinalis*) on the shelf-life of minced rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) during refrigerated storage. **Foods**, v. 1, p. 28-39, 2012.

- PRESENZA, L.; TEIXEIRA, B. F.; GALVÃO, J. A.; VIEIRA, T. M. F. S. Technological strategies for the use of plant-derived compounds in the preservation of fish products. **Food Chemistry**, v. 419, p. 136069, 2023.
- PRETTO, A.; LOPES, J. M.; MARINHO, I. R.; DOIHARA, I. P.; COSTA, T. S.; TEIXEIRA, C. S.; MONTEIRO, O. S. Effect of *Mentha piperita* essential oil in the conservation of refrigerated hybrid fish tambatinga meat. **Ciência Animal Brasileira**, v. 25, 76774e, 2024.
- REZENDE-DE-SOUZA, J. H.; SAVAY-DA-SILVA, L. K. As bases nitrogenadas voláteis totais são confiáveis para aferir o frescor do pescado? *In*: CORDEIRO, C. A. M.; AFONSO, A. M.; BORDIGNON, A. C. **Ciência e tecnologia do pescado: uma análise pluralista**. v. 3. p. 41-57, 2021.
- RIBEIRO, J. S.; SANTOS, M. J. M. C.; SILVA, L. K. R.; PEREIRA, L. C. L.; SANTOS, I. A.; LANNES, S. C. S.; SILVA, M. V. Natural antioxidants used in meat products: a brief review. **Meat Science**, v. 148, p. 181-188, 2019.
- SADEH, D.; NITZAN, N.; CHAIMOVITSH, D.; SHACHTER, A.; GHANIM, M.; DUDAI, N. Interactive effects of genotype, seasonality and extraction method on chemical compositions and yield of essential oil from rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). **Industrial Crops & Products**, v. 138, 111419, 2019.
- SAVAY DA SILVA, L. K.; RIGGO, R.; MARTINS, P. E.; GALVÃO, J. A.; OETTERER, M. Otimização e padronização do uso da metodologia para determinação de bases nitrogenadas voláteis totais (BNVT) em camarões *Xyphopeneaeus kroyeri*. **Brazilian Journal of Food and Technology**, v. 20, p. 138-144, 2008.
- SILVA, B. D.; BERNARDES, P. C.; PINHEIRO, P. F.; FANTUZZI, E.; ROBERTO, C. D. Chemical composition, extraction sources and action mechanisms of essential oils: natural preservative and limitations of use in meat products. **Meat Science**, v. 176, 108473, 2021.
- SOARES, K. M. P.; GONÇALVES, A. A. Qualidade e segurança do pescado. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 71, n. 1, p. 1-10, 2012.
- TILAMI, S. K.; SAMPELS, S. Nutritional value of fish: lipids, proteins, vitamins, and minerals. **Reviews in Fisheries Science & Aquaculture**, v. 26, n. 2, p. 243-253, 2018.
- TSIRONI, T.; HOUHOULA, D.; TAOUKIS, P. Hurdle technology for fish preservation. **Aquaculture and Fisheries**, v. 5, p. 65-71, 2020.
- VIANNA, G. M. S.; ZELLER, D.; PAULY, D. Fisheries and policy implications for human nutrition. **Current Environmental Health Reports**, v. 7, p. 161-169, 2020.
- YANG, J.; GOKSEN, G.; ZHANG, W. Rosemary essential oil: chemical and biological properties, with emphasis on its delivery systems for food preservation. **Food Control**, v. 154, 110003, 2023.

SOBRE OS ORGANIZADORES

Carlos Alberto Martins Cordeiro

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará (1995), mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Viçosa (1999) e doutorado em Produção Vegetal pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (2002) com área de concentração em Ciência e tecnologia de alimentos. Professor Associado da Universidade Federal do Pará, locado no Instituto de Estudos Costeiros (IECOS), no Curso de Engenharia de Pesca, *Campus* de Bragança (PA), atua na área de Qualidade e Tecnologia do Pescado, onde realiza pesquisa com desenvolvimento de produtos à base de pescado e estudos com isolamento e uso de bactérias probióticas na aquicultura.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5010139685215361>

Norma Suely Evangelista-Barreto

Possui graduação em Engenharia de Pesca pela Universidade Federal do Ceará (1998), mestrado em Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal do Ceará (2001) e doutorado em Ciências Biológicas (Microbiologia aplicada) pela Universidade Federal de Pernambuco (2006). Atualmente é professora titular na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB, atuando nas linhas de pesquisa Tecnologia do Pescado e Microbiologia de Alimentos. Na área de MICROBIOLOGIA, tem experiências nos seguintes temas: microbiologia de alimentos com ênfase em segurança alimentar, microbiologia ambiental, resistência antimicrobiana e microbiologia aplicada. Na área de TECNOLOGIA DE ALIMENTOS vem trabalhando na elaboração de produtos ou novas formulações, visando agregar valor em produtos a base de pescado, bem como na elaboração de produtos funcionais. Também atua na aplicação de revestimentos ativos para a conservação de alimentos em substituição aos conservantes químicos.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9100362269372451>

Alex Guimarães Sanches

Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Mestre em Agronomia, com área de concentração em Fitotecnia, pela Universidade Federal do Ceará (UFC) e Doutor em Agronomia, com ênfase em Produção Vegetal, pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências

Agrárias e Veterinárias (UNESP/FCAV). Atualmente é Professor do Magistério Superior na Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), *Campus* Monte Alegre, onde desenvolve atividades de ensino, pesquisa e extensão nas áreas de Fisiologia Pós-colheita (conservação e qualidade de produtos vegetais), Tecnologia de Alimentos (desenvolvimento de produtos de origem vegetal e animal, segurança alimentar e nutricional), Fruticultura (produção de mudas, manejo e nutrição de fruteiras tropicais) e Práticas Agrícolas Sustentáveis (aproveitamento de resíduos, sistemas agroflorestais e transição agroecológica).

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2372153782028484>

ÍNDICE REMISSIVO

A

Alimentação do Futuro: 64, 65, 76, 79, 81

Alimentos Funcionais: 20, 22, 44, 49, 50, 51, 58, 73

B

Beta-Caseína A2: 84, 85, 95

Beta-Casomorfina 7: 84, 85, 86

C

Cadeia Láctea A2: 84, 85

Capim Santo: 8, 9, 11, 20

Compostos Bioativos: 9, 10, 19, 20, 21, 45, 50, 51, 54, 55, 59, 101

Cookies: 44, 45, 46, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 60, 61, 62, 63

D

dry Hopping: 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 35, 37, 38, 39, 40, 41

E

Economia Circular: 25, 26, 40, 41, 44, 45, 46, 47, 52, 58, 59, 65, 74, 81

F

Farinha de Banana Verde: 44, 45, 51, 52, 53, 54, 56, 57, 59, 61

FoodTech: 65, 70

Frutooligossacarídeos: 44, 45, 53, 54, 56, 57, 59

I

Indústria Cervejeira: 25, 26, 39, 40, 62, 63

Indústria de Laticínios: 84, 86, 93

Inovação: 25, 27, 40, 48, 56, 58, 67, 68, 74, 76, 79, 81, 90

N

Nutrição Personalizada: 65, 73, 78

O

Óleo de Alecrim: 99, 106, 108

Oxidação de Gorduras: 99

P

Potencial Funcional: 9

Produtos Cárneos: 19, 49

Q

Qualidade de Pescado: 99

Quitosana: 44, 45, 47, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 59

R

Resíduos: 25, 26, 27, 28, 37, 39, 40, 45, 46, 47, 48, 58, 62, 63

S

Sustentabilidade Alimentar: 65, 74

V

Vida de Prateleira: 99



científica digital



VENDA PROIBIDA - ACESSO LIVRE - OPEN ACCESS



www.cientificadigital.org | contato@cientificadigital.org