

INOVAÇÕES EM ALIMENTOS E BEBIDAS FERMENTADAS



WALTER DE PAULA PINTO NETO
NEIDE KAZUE SAKUGAWA SHINOHARA
MARCOS ANTONIO DE MORAIS JUNIOR
RAFAEL BARROS DE SOUZA
EMMANUELA PRADO DE PAIVA AZEVEDO
ALESSANDRA SILVA ARAÚJO
THAYZA CHRISTINA MONTENEGRO STAMFORD
ORGANIZADORES

INOVACÕES EM ALIMENTOS E BEBIDAS FERMENTADAS



WALTER DE PAULA PINTO NETO
NEIDE KAZUE SAKUGAWA SHINOHARA
MARCOS ANTONIO DE MORAIS JUNIOR
RAFAEL BARROS DE SOUZA
EMMANUELA PRADO DE PAIVA AZEVEDO
ALESSANDRA SILVA ARAÚJO
THAYZA CHRISTINA MONTENEGRO STAMFORD
ORGANIZADORES

Inovações em alimentos e bebidas fermentadas está licenciado sob CC BY 4.0.



Essa licença permite que outros remixem, adaptem e desenvolvam seu trabalho para fins não comerciais e, embora os novos trabalhos devam ser creditados e não possam ser usados para fins comerciais, os usuários não precisam licenciar esses trabalhos derivados sob os mesmos termos. O conteúdo da obra e sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores e não representam a posição oficial da Ampla Editora. O download e o compartilhamento da obra são permitidos, desde que os autores sejam reconhecidos. Todos os direitos desta edição foram cedidos à Ampla Editora.

Catálogo na publicação
Elaborada por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

I58

Inovações em alimentos e bebidas fermentadas / Organização de Walter de Paula Pinto Neto, Neide Kazue Sakugawa Shinohara, Marcos Antonio de Moraes Junior, et al. – Campina Grande/PB: Ampla, 2026.

Outros organizadores: Rafael Barros de Souza, Emmanuela Prado de Paiva Azevedo, Alessandra Silva Araújo, Thayza Christina Montenegro Stamford.

Livro em PDF

ISBN 978-65-5381-356-4

DOI 10.51859/ampla.iab6164-0

1. Segurança alimentar. I. Pinto Neto, Walter de Paula (Organizador). II. Shinohara, Neide Kazue Sakugawa (Organizadora). III. Moraes Junior, Marcos Antonio de (Organizador). IV. Título.

CDD 664.07

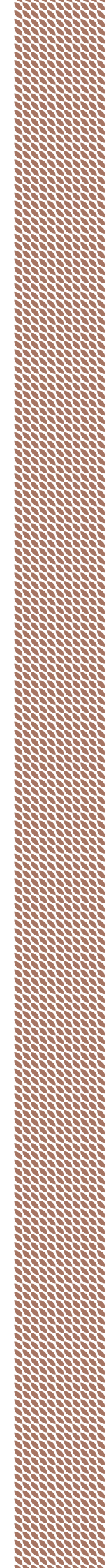
Índice para catálogo sistemático

I. Segurança alimentar

CONSELHO EDITORIAL

Adilson Tadeu Basquerote – Centro Universitário para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Alexander Josef Sá Tobias da Costa – Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Andréa Cátia Leal Badaró – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Andréia Monique Lermen – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Antoniele Silvana de Melo Souza – Universidade Estadual do Ceará
Aryane de Azevedo Pinheiro – Universidade Federal do Ceará
Bergson Rodrigo Siqueira de Melo – Universidade Estadual do Ceará
Bruna Beatriz da Rocha – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Bruno Ferreira – Universidade Federal da Bahia
Caio Augusto Martins Aires – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Caio César Costa Santos – Universidade Federal de Sergipe
Carina Alexandra Rondini – Universidade Estadual Paulista
Carla Caroline Alves Carvalho – Universidade Federal de Campina Grande
Carlos Augusto Trojaner – Prefeitura de Venâncio Aires
Carolina Carbonell Demori – Universidade Federal de Pelotas
Caroline Barbosa Vieira – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul
Christiano Henrique Rezende – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Cícero Batista do Nascimento Filho – Universidade Federal do Ceará
Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Dandara Scarlet Sousa Gomes Bacelar – Universidade Federal do Piauí
Daniela de Freitas Lima – Universidade Federal de Campina Grande
Darlei Gutierrez Dantas Bernardo Oliveira – Universidade Estadual da Paraíba
Denilson Paulo Souza dos Santos – Universidade Estadual Paulista
Denise Barguil Nepomuceno – Universidade Federal de Minas Gerais
Dinara das Graças Carvalho Costa – Universidade Estadual da Paraíba
Diogo Lopes de Oliveira – Universidade Federal de Campina Grande
Dylan Ávila Alves – Instituto Federal Goiano
Edson Lourenço da Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí
Elane da Silva Barbosa – Universidade Estadual do Ceará
Érica Rios de Carvalho – Universidade Católica do Salvador
Fábio Ronaldo da Silva – Universidade do Estado da Bahia
Fernanda Beatriz Pereira Cavalcanti – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Fredson Pereira da Silva – Universidade Estadual do Ceará
Gabriel Gomes de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Gilberto de Melo Junior – Instituto Federal do Pará
Givanildo de Oliveira Santos – Instituto Brasileiro de Educação e Cultura
Glécia Morgana da Silva Marinho – Pontifícia Universidad Católica Argentina Santa Maria de Buenos Aires (UCA)
Higor Costa de Brito – Universidade Federal de Campina Grande
Hugo José Coelho Corrêa de Azevedo – Fundação Oswaldo Cruz
Igor Lima Soares – Universidade Federal do Ceará
Isabel Fontgalland – Universidade Federal de Campina Grande
Isane Vera Karsburg – Universidade do Estado de Mato Grosso
Israel Gondres Torné – Universidade do Estado do Amazonas
Ivo Batista Conde – Universidade Estadual do Ceará
Jaqueline Rocha Borges dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Jessica Wanderley Souza do Nascimento – Instituto de Especialização do Amazonas
João Henriques de Sousa Júnior – Universidade Federal de Santa Catarina
João Manoel Da Silva – Universidade Federal de Alagoas
João Vitor Andrade – Universidade de São Paulo
Joilson Silva de Sousa – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
José Cândido Rodrigues Neto – Universidade Estadual da Paraíba
Jose Henrique de Lacerda Furtado – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Josenita Luiz da Silva – Faculdade Frassinetti do Recife
Josiney Farias de Araújo – Universidade Federal do Pará
Karina de Araújo Dias – SME/Prefeitura Municipal de Florianópolis
Katia Fernanda Alves Moreira – Universidade Federal de Rondônia
Laís Portugal Rios da Costa Pereira – Universidade Federal de São Carlos
Laíze Lantyer Luz – Universidade Católica do Salvador
Lara Luiza Oliveira Amaral – Universidade Estadual de Campinas
Lindon Johnson Pontes Portela – Universidade Federal do Oeste do Pará
Lisiane Silva das Neves – Universidade Federal do Rio Grande
Lucas Araújo Ferreira – Universidade Federal do Pará
Lucas Capita Quarto – Universidade Federal do Oeste do Pará
Lúcia Magnólia Albuquerque Soares de Camargo – Unifacisa Centro Universitário
Luciana de Jesus Botelho Sodré dos Santos – Universidade Estadual do Maranhão
Luís Miguel Silva Vieira – Universidade da Madeira
Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Luiza Catarina Sobreira de Souza – Faculdade de Ciências Humanas do Sertão Central
Manoel Mariano Neto da Silva – Universidade Federal de Campina Grande
Marcelo Alves Pereira Eufrazio – Centro Universitário Unifacisa
Marcelo Henrique Torres de Medeiros – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Marcelo Williams Oliveira de Souza – Universidade Federal do Pará
Marcos Pereira dos Santos – Faculdade Rachel de Queiroz
Marcus Vinicius Peralva Santos – Universidade Federal da Bahia
Maria Carolina da Silva Costa – Universidade Federal do Piauí
Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas
Marina Magalhães de Moraes – Universidade Federal do Amazonas
Mário César de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia
Michele Antunes – Universidade Feevale
Michele Aparecida Cerqueira Rodrigues – Logos University International
Miguel Ysrrael Ramírez-Sánchez – Universidade Autónoma do Estado do México
Milena Roberta Freire da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Nadja Maria Mourão – Universidade do Estado de Minas Gerais
Natan Galves Santana – Universidade Paranaense
Nathalia Bezerra da Silva Ferreira – Universidade do Estado do Rio Grande do Norte
Neide Kazue Sakugawa Shinohara – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Neudson Johnson Martinho – Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Mato Grosso
Patrícia Appelt – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Paula Milena Melo Casais – Universidade Federal da Bahia
Paulo Henrique Matos de Jesus – Universidade Federal do Maranhão
Rafael Rodrigues Gomides – Faculdade de Quatro Marcos
Ramôn da Silva Santos – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Reângela Cíntia Rodrigues de Oliveira Lima – Universidade Federal do Ceará
Rebeca Freitas Ivanicska – Universidade Federal de Lavras
Regina Márcia Soares Cavalcante – Universidade Federal do Piauí
Renan Gustavo Pacheco Soares – Autarquia do Ensino Superior de Garanhuns
Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília
Ricardo Leoni Gonçalves Bastos – Universidade Federal do Ceará
Rodrigo da Rosa Pereira – Universidade Federal do Rio Grande
Rubia Katia Azevedo Montenegro – Universidade Estadual Vale do Acaraú
Sabryna Brito Oliveira – Universidade Federal de Minas Gerais
Samuel Miranda Mattos – Universidade Estadual do Ceará
Selma Maria da Silva Andrade – Universidade Norte do Paraná
Shirley Santos Nascimento – Universidade Estadual Do Sudoeste Da Bahia
Silvana Carlotto Andres – Universidade Federal de Santa Maria
Silvio de Almeida Junior – Universidade de Franca
Tatiana Paschoalette R. Bachur – Universidade Estadual do Ceará | Centro Universitário Christus
Telma Regina Stroparo – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Thayla Amorim Santino – Universidade Federal do Rio Grande do Norte



Thiago Sebastião Reis Contarato – Universidade Federal do Rio de Janeiro
Tiago Silveira Machado – Universidade de Pernambuco
Valvenarg Pereira da Silva – Universidade do Estado de Mato Grosso
Vinícius Queiroz Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia
Virgínia Maia de Araújo Oliveira – Instituto Federal da Paraíba
Virginia Tomaz Machado – Faculdade Santa Maria de Cajazeiras
Walmir Fernandes Pereira – Miami University of Science and Technology
Wanessa Dunga de Assis – Universidade Federal de Campina Grande
Wellington Alves Silva – Universidade Estadual de Roraima
William Roslindo Paranhos – Universidade Federal de Santa Catarina
Yáscara Maia Araújo de Brito – Universidade Federal de Campina Grande
Yasmin da Silva Santos – Fundação Oswaldo Cruz
Yuciara Barbosa Costa Ferreira – Universidade Federal de Campina Grande

PREFÁCIO

A fermentação acompanha a história da humanidade há milhares de anos e permanece, na atualidade, como uma das tecnologias mais importantes para a produção de alimentos e bebidas. Além de conservar alimentos e contribuir para características sensoriais como sabor, aroma e textura, a fermentação também tem se destacado por seu potencial de inovação, sustentabilidade e promoção da saúde. Em um cenário marcado por mudanças no perfil de consumo e pela busca por sistemas alimentares mais equilibrados, os alimentos fermentados ganham ainda mais relevância científica, tecnológica e cultural.

A obra *Inovações em Alimentos e Bebidas Fermentadas* reúne reflexões atuais sobre diferentes abordagens relacionadas à fermentação, apresentando contribuições que dialogam com a ciência, a tecnologia, a nutrição e a valorização do patrimônio alimentar. Ao longo dos capítulos, o leitor encontrará discussões sobre compostos bioativos e antinutrientes, uso de algas como ingredientes inovadores, produção de celulose bacteriana em substratos alternativos e o avanço de bebidas fermentadas de origem vegetal.

O livro também aborda temas ligados ao potencial funcional e probiótico de produtos como kefir, kombucha e bebidas plant-based, além de destacar processos fermentativos tradicionais, como a fermentação espontânea do mel de abelhas sem ferrão e a tiquira maranhense, evidenciando a fermentação como expressão cultural e identidade alimentar. Soma-se a isso a discussão sobre os efeitos dos produtos fermentados na saúde metabólica e sua relação com a obesidade.

Mais do que apresentar conhecimentos técnicos e científicos, esta obra convida à reflexão sobre o papel da fermentação na construção de alimentos mais inovadores, sustentáveis e conectados às demandas do presente e do futuro. Desejamos a todos uma leitura proveitosa e enriquecedora.

Walter de Paula Pinto Neto

SUMÁRIO

CAPÍTULO I. ANTINUTRIENTES E OS ALIMENTOS FERMENTADOS.....	8
CAPÍTULO II. UTILIZAÇÃO DE ALGAS NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS E BEBIDAS FERMENTADAS	24
CAPÍTULO III. PRODUÇÃO DE CELULOSE BACTERIANA EM SUBSTRATOS ALTERNATIVOS: UMA BREVE REVISÃO	37
CAPÍTULO IV. BEBIDAS FERMENTADAS DE MATRIZ VEGETAL NA ERA DA BIOINOVAÇÃO: MICROORGANISMOS DE PRÓXIMA GERAÇÃO E ESTRATÉGIAS DE MICROENCAPSULAÇÃO	52
CAPÍTULO V. FERMENTAÇÃO DE BEBIDA PLANT-BASED À BASE DE LICURI: POTENCIAL PROBIÓTICO, ESTABILIDADE E INOVAÇÃO SUSTENTÁVEL EM PRODUTOS NÃO LÁCTEOS.....	62
CAPÍTULO VI. KEFIR DE LEITE E DE ÁGUA: DIVERSIDADE MICROBIANA, POTENCIAL FUNCIONAL E INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS.....	76
CAPÍTULO VII. CONTRIBUIÇÕES DAS VARIEDADES DE <i>CAMELLIA SINENSIS</i> PARA A PRODUÇÃO DE KOMBUCHA.....	89
CAPÍTULO VIII. FERMENTAÇÃO ESPONTÂNEA DO MEL DE ABELHAS SEM FERRÃO	101
CAPÍTULO IX. TIQUIRA: A FERMENTAÇÃO COMO TECNOLOGIA CULTURAL E PATRIMÔNIO ALIMENTAR NO MARANHÃO	114
CAPÍTULO X. PRODUTOS FERMENTADOS E OBESIDADE: ASPECTOS NUTRICIONAIS, FUNCIONAIS E METABÓLICOS	128

ANTINUTRIENTES E OS ALIMENTOS FERMENTADOS

ANTINUTRIENTS AND FERMENTED FOODS

DOI: 10.51859/ampla.iab6164-1

Allyson Andrade Mendonça¹

Dayane da Silva Santos²

Mylenna Máyra Gois de Souza³

Tiago Luiz Santana Calazans⁴

Marcos Antônio de Moraes Jr⁵

¹ Doutor em genética e pesquisador no Laboratório de genética de microrganismos, do departamento de genética. Universidade Federal de Pernambuco.

² Doutora em genética e pesquisadora no Laboratório de genética de microrganismos do departamento de genética. Universidade Federal de Pernambuco.

³ Doutoranda em genética, biologia molecular e evolução do departamento de genética. Universidade Federal de Pernambuco.

⁴ Doutorando no programa de ciências biológicas do Centro de Biociências. Universidade Federal de Pernambuco.

⁵ Professor titular do departamento de genética. Universidade Federal de Pernambuco.

RESUMO

O processo de fermentação é uma metodologia antiga para produção de alimentos, com raízes culturais e históricas profundas. Atualmente ele é aplicado na produção de muitos produtos que fazem parte da dieta de milhões de pessoas ao redor do globo. Além de alterar as propriedades nativas do substrato, a fermentação é capaz de eliminar moléculas prejudiciais ao consumidor, principalmente as moléculas de antinutrientes. Os antinutrientes fazem parte dos mecanismos de defesas das próprias plantas para prevenir a herbivoria e perturbam a homeostasia da digestão. Existem diferentes tipos de moléculas antinutrientes das quais as principais incluem os oxalatos, taninos, saponinas, lectinas, aminoácidos não proteínogênicos e glicosídeos cianogênicos, entre outras. Cada uma dessas moléculas tem mecanismos de ação próprios e podem ser eliminadas eficientemente através do processo fermentativo. Os microrganismos fermentadores tem uma ação efetiva na eliminação dessas moléculas e tem auxiliado no aumento da valorização nutricional dos alimentos.

Palavras-chave: Fermentação. Antinutrientes. Microbiologia fermentativa.

ABSTRACT

Fermentation is an ancient method for food production with strong cultural and historical roots. Currently, it is applied in the production of many products that are part of the diet of millions of people around the globe. In addition to altering the native properties of the substrate, fermentation is capable of eliminating molecules harmful to the consumer, mainly the antinutrient molecules. Antinutrients are part of the plants' own defense mechanisms to prevent herbivory and disrupt the digestive homeostasis. There are different types of antinutrient molecules, the main ones including oxalates, tannins, saponins, lectins, non-proteinogenic amino acids, and cyanogenic glycosides, among others. Each of these molecules has its own mechanisms of action and can be efficiently eliminated through the fermentation process. Fermenting microorganisms have an effective action in eliminating these molecules and have helped to increase the nutritional value of foods.

Keywords: Fermentation. Antinutrients. Fermentative microbiology.

1. INTRODUÇÃO

A prática de produzir alimentos fermentados se desenvolveu em muitas sociedades como parte de sua cultura e história (Tamang *et al.*, 2020). Inicialmente uma prática para preservar os alimentos, a fermentação se tornou um procedimento de preparo de gêneros alimentícios únicos (Ray *et al.*, 2024). Hoje, existem diversos exemplos de produtos fermentados, muitos intrinsecamente relacionados a sua região de origem, como é o caso do kimchi na Coreia, do chucrute e do sourdough alemães, do tempeh na Indonésia e Malásia e do missô Japonês (Şanlıer; Gökçen; Sezgin, 2019). Por outro lado, fermentados de leite se popularizaram no mundo e fazem parte da dieta diária de milhões de pessoas, na forma de leites fermentados, iogurtes e queijos (Castellone *et al.*, 2021). Atualmente, o consumo desses produtos tem se intensificado na busca por hábitos alimentares mais saudáveis e como alternativa a substituição de alimentos pouco nutritivos (Vinderola *et al.*, 2023).

O consumo de fermentados também tem sido um promotor de saúde, não apenas por uma questão nutricional, mas por ajudar a reduzir inflamações, alergias alimentares e quadros de disbiose intestinal (Leeuwendaal *et al.*, 2022). Em parte, esses efeitos são alcançados através das biomoléculas ativas que são produzidas durante a fermentação (Mukherjee *et al.*, 2024). Muitos desses bioativos são produtos da ação direta dos microrganismos fermentadores e não estão biodisponíveis no substrato original (Marco *et al.*, 2017). Os próprios microrganismos que se estabelecem no processo, têm efeito promotor de saúde e muitos são classificados como probióticos (Seo, 2024). Eles atuam também consumindo moléculas indesejadas que prejudicam o potencial nutricional do alimento e que estão no substrato original da fermentação.

Entre essas moléculas estão as classificadas como antinutrientes, um grupo diverso de substâncias produzidas principalmente por plantas como parte de sua estratégia de combate a herbivoria (Yilmaz Tuncel *et al.*, 2025). Os antinutrientes atuam por diversos mecanismos que prejudicam o processo de nutrição e tem sido um fator relevante para introdução de novas opções de alimento como estratégia para garantir a segurança alimentar de regiões em desenvolvimento (TIWARI e DUBEY, 2025). A experiência com a produção de alimentos fermentados tem se mostrado uma alternativa no controle ou mesmo eliminação dessas moléculas antinutrientes (Das; Sharma; Sarkar, 2022) e uma ferramenta promissora para o desenvolvimento de alimentos com maior teor nutricional e promotor de saúde.

2. ANTINUTRIENTES

Antinutrientes ou fatores antinutricionais, são moléculas presentes nos alimentos de origem vegetal que interferem na absorção de nutrientes (Yilmaz Tuncel *et al.*, 2025). Geralmente são produzidos pelas plantas como forma de defesa contra o seu consumo e englobam uma grande gama de moléculas como lectinas, inibidores de proteases, aminoácidos não proteínogênicos, glicosídeos cianogênicos, saponinas, taninos, oxalacetato e fitatos, entre outros (Ali *et al.*, 2022). Algumas dessas moléculas podem ser eliminadas por ação térmica ou incubação em água, mas não todas. Durante o processo de fermentação, a ação da microbiota ajuda a degradar esses compostos, com casos de redução de até 93% de moléculas certos antinutrientes (CASTRO-ALBA e colab., 2019; JEYAKUMAR e LAWRENCE, 2022).

2.1. OXALATOS

O oxalato é um ácido dicarboxílico originado da oxidação incompleta de carboidratos, produzido a partir de precursores do metabolismo central de carbono em plantas, como oxalacetato ou a via do glioxalato (Li *et al.*, 2022). São solúveis em água e podem ser extraídos dos alimentos através de fervura (Huynh; Nguyen; Nguyen, 2022). Devido os seus grupos carboxila, tendem a formar sais com cátions como o cálcio e outros minerais (Nayagam; Rajan, 2021). Cristais de oxalato de cálcio são conhecidos por contribuir na formação das pedras nos rins, mas também por levarem a perda de cálcio na urina (Huynh; Nguyen; Nguyen, 2022). Além das fontes alimentares, o oxalato pode ter origem endógena e contribuir para seu acúmulo na corrente sanguínea e aumento na excreção renal. O metabolismo hepático é a principal fonte endógena de oxalato, como intermediário do metabolismo do glioxalato proveniente dos alimentos (Bao; Wang; Zhao, 2023). Habitualmente, a metabolização hepática do glioxalato via a enzima alanina-glioxalato aminotransferase (AGXT) produz glicina, mas em casos onde há deficiência dessa atividade enzimática, o acúmulo do glioxalato é controlado pelo emprego de outras atividades enzimáticas, que levam a produção do oxalato, como a lactato desidrogenase A (Ermer *et al.*, 2023).

2.2. LECTINAS

Diferente dos oxalatos, as lectinas tem uma função mais diversa como antinutrientes. Lectinas são glicoproteínas capazes de se ligar a carboidratos (Naithani *et al.*, 2021; Singh *et al.*, 2023). Elas compõem parte dos mecanismos do sistema imune dos mamíferos,

reconhecendo carboidratos da superfície de patógenos, mas também são produzidas por plantas como estratégia de defesa ao ataque de pragas (Jain *et al.*, 2022). Basicamente, elas atuam se ligando a carboidratos da superfície do epitélio intestinal dos insetos levando a alterações morfológicas, interferindo na absorção nutricional e inibindo o desenvolvimento de larvas (Jain *et al.*, 2022). Alguns estudos apontam que também há toxicidade das lectinas de origem vegetal em modelos animais (Vasconcelos; Oliveira, 2004). Como antinutrientes, elas atuam com os mesmos mecanismos no epitélio intestinal de mamíferos. Diversos alimentos possuem lectinas como é o caso da fito-hemaglutinina do feijão e a aglutinina da soja.

2.3. INIBIDORES DE PROTEASES

Além das lectinas, muitas plantas acumulam inibidores de proteases como parte do seu mecanismo de controle pós-traducional das proteases, mas também como mecanismo de ação contra insetos (Divekar *et al.*, 2023; Moloji; Ngara, 2023). Há diversos tipos de inibidores de proteases, alguns de origem proteica e outros não proteicos. Os principais são os inibidores de serino proteases tipo Bowman-Birk e inibidores Kunitz, inibidores de aspartil proteases, cistatinas e inibidores de metaloproteases (Condori; De Camargo, 2023). Atuando como antinutrientes, elas inibem a atividade de enzimas digestivas, basicamente a tripsina e a quimiotripsina no intestino, reduzindo a eficiência na captação de aminoácidos da alimentação. Por consequência, o intestino grosso recebe um aporte elevado de proteínas e oligopeptídeos que são fermentadas pela microbiota e resultam na formação de gás. Ademais, alguns autores também descrevem como efeito desses inibidores, supressão do crescimento e distúrbios pancreáticos, como a hipertrofia (Condori; De Camargo, 2023; Singh; Arora, 2023).

2.4. AMINOÁCIDOS NÃO PROTEINOGÊNICOS

Aminoácidos não proteínogênicos sintetizado por plantas apresentam efeitos antinutricionais que variam da supressão do crescimento até distúrbios neurológicos (Kumar; Turkey; Kumar, 2017). O ácido beta-N-oxalil-L-alfa-beta-diaminopropiônico (BOAA) se acumula natural na planta *Lathyrus sativus*, a ervilha de grama, que é uma importante fonte de proteína para animais e humanos devido a sua resistência a seca e patógeno (Liu *et al.*, 2017). Contudo, seu consumo deve ser limitado a não mais que 10% da dieta pois seu excesso pode levar a neurolatirismo, justamente devido ao BOAA (Liu *et al.*, 2017). O neurolatirismo, tem sintomas como rigidez ou fraqueza progressiva nas pernas (paralisia espasmática), perda da

coordenação (ataxia) e reflexos exagerados (hiperflexia) (Bimerew *et al.*, 2023; Singh; Rao, 2013). Esse aminoácido atua principalmente no tronco encefálico como um agonista de receptores de glutamato (Sharma *et al.*, 2022). Outro aminoácido não proteínogênico é a L-mimosina, que tem um mecanismo menos específico, ele é um aminoácido análogo da tirosina que se acumula em plantas como *Leucaena leucocephala* (Kato-Noguchi; Kato, 2025). Por ser um análogo da tirosina, pode ser incorporado no lugar deste aminoácido levando a prejuízos na atividade das proteínas (Gotardo *et al.*, 2021). Como resultado, seu consumo pode levar a perda de peso, catarata, alopecia, infertilidade, abortos ou mesmo efeitos teratogênicos (Gotardo *et al.*, 2021). Devido a isso, *L. leucocephala* tem seu consumo limitado por humanos e animais de criação. Isso tem restringido o potencial de uso de *L. leucocephala* como fonte de proteína que poderia contribuir para segurança alimentar auxiliando na produção animal (De Angelis *et al.*, 2021).

2.5. GLICOSÍDEOS CIANOGENICOS

Além do metabolismo de proteínas, as plantas produzem uma série de moléculas derivadas de carboidratos e muitas delas atuam como antinutrientes. Os glicosídeos cianogênicos, por exemplo, são moléculas de monossacarídeos, como a glicose, ou dissacarídeos (D-glicose-b1,6-D-glicose), ligados a um α -hidroxinitrila ou cianoidrina ($R_2C(OH)CN$) (Tahir *et al.*, 2024). Durante o consumo, b-glicosidases das plantas atuam liberando a porção glicona, seja um monossacarídeo ou dissarídeo, da porção aglicona da molécula, a cianoidrina (Tahir *et al.*, 2024). Livre, a cianoidrina sofre uma decomposição formando um aldeído ou cetona correspondentes mais uma molécula de cianeto (Arsov *et al.*, 2024). O cianeto é um potente inibidor do citocromo C oxidase, bloqueando a cadeia transportadora de elétrons. O sistema respiratório, nervoso e cardíaco são os principais afetados (Thakur *et al.*, 2019). Diversas plantas consumíveis produzem glicosídeos cianogênicos em diferentes quantidades, como a amigdalina encontrada no damasco e na amêndoa, a linamarina e a lotaustralina encontrada na mandioca, entre outras (Arsov *et al.*, 2024). Apesar de pouco descrito, quadros de intoxicação aguda, relacionados ao consumo prolongado desses antinutrientes, foi associado ao atraso do desenvolvimento em crianças (Banea-Mayambu *et al.*, 2000). Adicionalmente, o consumo de plantas produtoras de glicosídeos cianogênicos tem sido elencado como um fator causal de Konzo, uma síndrome

neurológica de ocorrência na região da África subsaariana (Kashala-Abotnes *et al.*, 2019; Tylleskär *et al.*, 1992).

2.6. SAPONINAS

Similar aos glicosídeos cianogênicos, as saponinas possuem uma porção glicona e aglicona. A porção glicona das saponinas é muito mais diversa, formada por uma cadeia com o monossacarídeo como a glicose, a galactose, o ácido glucorônico, a ramnose, a arabinose ou a xilose (Savarino *et al.*, 2023). A porção aglicona é uma cadeia hidrofóbica que pode ser derivada de isopreno, no caso dos triterpenóides, formado por 6 unidades de isopreno, ou esteroidal (Savarino *et al.*, 2023). A porção esteroidal é formado por 27 átomos de carbono, em 4 estruturas cíclicas, 3 formadas por 6 átomos de carbono e 1 formada por 5 átomos de carbono (Savarino *et al.*, 2023). Genericamente, a porção aglicona é denominada de sapogenina. Como um antinutriente, as saponinas atuam se ligando a minerais e vitaminas, dificultando sua absorção, se liga a proteínas digestivas, como a tripsina e a quimiotripsina, e a membranas biológicas (Samtiya; Aluko; Dhewa, 2020). Devido a sua configuração com uma porção hidrofílica e uma porção hidrofóbica, elas conseguem atuar sobre as membranas biológicas podendo levar a sua desorganização (De Groot; Müller-Goymann, 2016). A interação das saponinas com as membranas biológicas, ao menos em parte, depende da presença do colesterol (Ondevilla *et al.*, 2023). Apesar das saponinas serem encontradas em quantidades segura para o consumo humano na maioria das plantas, o consumo excessivo pode trazer efeitos adversos. Por exemplo, o spirostanol uma saponina esteroidal presente em plantas como *Fructus Tribuli*, utilizado na medicina popular, mas também presente no alho e na cebola, apresentou efeitos hepatorenal tóxico em modelo animal (Sun *et al.*, 2022).

2.7. GOITROGÊNICOS

Goitrogênicos ou bociogênicos são moléculas de diversas classes capazes de interferir com o funcionamento normal da tireoide, atuando direta ou indiretamente nessa glândula. Glucosídeos cianogênicos e isoflavonoide como a genisteína possuem atividade goitrogênica (Doerge; Sheehan, 2002; Galanty *et al.*, 2024). Diversos mecanismos bociogênicos podem ser empregados por essas moléculas, como a inibição dos transportadores de sódio e iodo (NIS) na membrana baso-lateral das células da tireóide, inibição da enzima tioperoxidase (TPO), que atua em estágios iniciais da síntese de hormônios T3 e T4, e competição pela transtirretina que também transporta os hormônios tireoidianos pelo corpo (Chandra, 2010; López-Moreno;

Garcés-Rimón; Miguel, 2022; Radović; Mentrup; Köhrle, 2006; Šošić-Jurjević *et al.*, 2014). UDP-glucuronosil transferases (UGT) é uma enzima que participa do catabolismo dos hormônios tireoidais e estudos demonstraram que o glucosinolato, um composto goitrogênico presente no brócolis, tem efeito indutor da expressão desse gene, em modelos animais, o que pode contribuir para redução da biodisponibilidade desses hormônios (Peeters; Visser, 2000). Efeito similar já foi observado para outras substâncias que também induzem as UGTs, como o caso dos barbitúricos e fibratos que, via UGT, contribuiriam para acelerar a degradação de hormônios da tireoide (Peeters; Visser, 2000). Como consequência da redução da atividade dos hormônios tireoidais, a glândula pituitária aumenta a secreção do hormônio estimulador da tireoide (TSH) o que resulta no aumento glandular, sintoma comum do bócio (Babić Leko *et al.*, 2021). Em geral, a suplementação com iodo consegue contrabalancear o efeito dos bociogênicos, mas tem sido reportado que o consumo prolongado de alimentos ricos em bociogênicos pode manter efeitos moderado de inibição da TPO mesmo com suplementação de iodo, em modelo animal (Chandra *et al.*, 2006).

2.8. TANINOS

Taninos são moléculas de polifénóis presente em diversos alimentos, por exemplo, café, maçã, uva e cacau, responsável por conferir um sabor amargo a adstringente a esses alimentos (Hoque *et al.*, 2025; Lyu *et al.*, 2022). Eles são classificados de acordo com a sua estrutura química em hidrossolúveis, condensados e complexos. Os hidrossolúveis são formados por ácido gálico ou elágico esterificados com um núcleo de carboidrato, comumente a glicose, e são susceptíveis a hidrólise por ácido, bases ou enzimas (Zayed *et al.*, 2025). Por sua vez os condensados, também chamados de protoantocianidinas, são polímeros de flavonoides e resistentes a hidrólise, enquanto os taninos complexos são uma composição híbrida dos hidrossolúveis e flavonoides (Zayed *et al.*, 2025). Os taninos interferem na capacidade de absorção de minerais, podendo contribuir para deficiência de ferro e atuam como inibidores de enzimas digestivas (Cosme *et al.*, 2025; Ram *et al.*, 2020). O consumo excessivo de alimentos ricos nesse antinutriente foi relacionado a má biodisponibilidade de ferro em regiões em desenvolvimento (Petry *et al.*, 2010). Alterações na mucosa intestinal, como o enrijecimento, também foram reportados relacionados aos taninos (Ojo, 2022). É importante salientar que muitos estudos foram realizados com formulações puras industriais desses compostos e em animais modelo, o que pode dificultar a extrapolação dos resultados

para humanos (Ojo, 2022). Contudo, o efeito antinutriente dessas moléculas se torna relevante em regiões que dependem de poucas opções de culturas agrícolas para sua segurança alimentar (Tadesse *et al.*, 2025).

3. O PROCESSO FERMENTATIVO

O processo de fermentação é responsável por biotransformar a matriz do substrato por ação direta dos microrganismos (Harper *et al.*, 2022). Deste modo, a microbiota consegue extrair do substrato os nutrientes necessários para sustentar o seu metabolismo. Na fermentação natural, a microbiota nativa dos ingredientes é responsável pelo processo (Voidarou *et al.*, 2020). Por outro lado, alguns produtos precisam de uma microbiota específica para serem produzidos e por isso precisam ser adicionadas ao substrato culturas iniciadoras (Voidarou *et al.*, 2020). Independente do caso, é a atividade biológica que irá modificar a matriz do substrato e permitirá o desenvolvimento das características do produto fermentado final. De modo geral, os processos fermentativos são anaeróbicos, podendo ocorrer independente do oxigênio (Feng; Chen; Chen, 2018). É comum classificar o tipo de fermentação baseado no produto final que mais se acumula, geralmente um ácido orgânico, aldeído, cetona ou álcool, oriundo do metabolismo central de carbono (Feng; Chen; Chen, 2018). Muitos ácidos orgânicos que se acumulam são benéficos, porque inibem o crescimento de patógenos e atuam como conservantes naturais dos produtos fermentados, não exigindo o uso de conservantes químicos (Zapašnik; Sokołowska; Bryła, 2022).

3.1. FERMENTAÇÃO COMO ESTRATÉGIA DE REDUÇÃO DOS ANTINUTRIENTES

Durante a fermentação, todos esses antinutrientes podem ser eliminados ou ter sua concentração drasticamente reduzida. O próprio processo de incubação em ambiente aquoso ajuda a reduzir antinutrientes como saponinas e oxalato, mas a atividade biológica dos microrganismos que se estabelecem no processo também contribui. Por exemplo, os oxalatos podem ser consumidos pelos microrganismos e catabolizado a formiato e gás carbônico (Karamad *et al.*, 2022), as lectinas podem ser degradadas por proteases e utilizadas como fonte de nitrogênio (Arbab Sakandar *et al.*, 2023). Taninos são degradados em fermentação por organismos que produzem enzimas como a tanase, o que também contribui em reduzir o amargor e adstringência do produto final (Tang *et al.*, 2024). Também foi relatado a redução na quantidade de saponinas após a fermentação (Sharma *et al.*, 2023), inclusive em produtos

destinados a alimentação animal (Zhen *et al.*, 2023). O mesmo foi observado quanto aos glicosídeos cianogênicos, os bociogênicos e demais antinutrientes (Arbab Sakandar *et al.*, 2023). Adicionalmente, com o consumo regular, esses microrganismos são incluídos na microbiota do hospedeiro e fornecem suas atividades biológicas catabolizadora de antinutrientes. Permitindo a degradação dessas moléculas provenientes da alimentação de outros produtos.

REFERÊNCIAS

- ALI, Amanat *et al.* Antinutritional Factors and Biological Constraints in the Utilization of Plant Protein Foods. *Plant Protein Foods*. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 407–438.
- AMENU, Desalegn; NUGUSA, Ayantu; TAFESSE, Temesgen. Preservative Effectiveness of Lactic Acid Bacteria on Fruits and Vegetables. *International Journal of Cell Biology*, v. 2025, n. 1, 31 jan. 2025.
- ARBAB SAKANDAR, Hafiz *et al.* Impact of Fermentation on Antinutritional Factors and Protein Degradation of Legume Seeds: A Review. *Food Reviews International*, v. 39, n. 3, p. 1227–1249, 3 abr. 2023a.
- ARBAB SAKANDAR, Hafiz *et al.* Impact of Fermentation on Antinutritional Factors and Protein Degradation of Legume Seeds: A Review. *Food Reviews International*, v. 39, n. 3, p. 1227–1249, 3 abr. 2023b.
- ARSOV, Alexander *et al.* Bacterial Degradation of Antinutrients in Foods: The Genomic Insight. *Foods*, v. 13, n. 15, p. 2408, 29 jul. 2024.
- BABIĆ LEKO, Mirjana *et al.* Environmental Factors Affecting Thyroid-Stimulating Hormone and Thyroid Hormone Levels. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 22, n. 12, p. 6521, 17 jun. 2021.
- BANEA-MAYAMBU, Jean-Pierre *et al.* Dietary cyanide from insufficiently processed cassava and growth retardation in children in the Democratic Republic of Congo (formerly Zaire). *Annals of Tropical Paediatrics*, v. 20, n. 1, p. 34–40, 13 mar. 2000.
- BAO, Daorina; WANG, Yu; ZHAO, Ming-hui. Oxalate Nephropathy and the Mechanism of Oxalate-Induced Kidney Injury. *Kidney Diseases*, v. 9, n. 6, p. 459–468, 2023.
- BIMEREW, Melaku *et al.* Prevalence of Neurolathyrism and its associated factors in Grass pea cultivation areas of Dawunt District, North-eastern Ethiopia; 2022: a community based multilevel analysis. *BMC Neurology*, v. 23, n. 1, p. 357, 5 out. 2023.

- CASTELLONE, Vincenzo *et al.* Eating Fermented: Health Benefits of LAB-Fermented Foods. *Foods*, v. 10, n. 11, p. 2639, 31 out. 2021.
- CASTRO-ALBA, Vanesa *et al.* Fermentation of pseudocereals quinoa, canihua, and amaranth to improve mineral accessibility through degradation of phytate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 99, n. 11, p. 5239–5248, 30 ago. 2019.
- CHANDRA, Amar K *et al.* EFFECT OF CASSAVA (*MANIHOT ESCULENTA CRENTZ*) ON THYROID STATUS UNDER CONDITIONS OF VARYING IODINE INTAKE IN RATS. *Afr. J. Trad. CAM.* [S.l.: s.n.], 2006. Disponível em: <www.africanethnomedicines.net>.
- CHANDRA, Amar K. Goitrogen in Food. *Bioactive Foods in Promoting Health*. [S.l.]: Elsevier, 2010. p. 691–716.
- CONDORI, Miguel Angel Varas; DE CAMARGO, Adriano Costa. Trypsin inhibitors, antinutrients or bioactive compounds? a mini review. *Journal of Food Bioactives*, p. 9–16, jun. 2023.
- COSME, Fernanda *et al.* A Comprehensive Review of Bioactive Tannins in Foods and Beverages: Functional Properties, Health Benefits, and Sensory Qualities. *Molecules*, v. 30, n. 4, p. 800, 9 fev. 2025.
- DAS, Gouri; SHARMA, Anand; SARKAR, Prabir K. Conventional and emerging processing techniques for the post-harvest reduction of antinutrients in edible legumes. *Applied Food Research*, v. 2, n. 1, p. 100112, jun. 2022.
- DE ANGELIS, Anna *et al.* A Multipurpose Leguminous Plant for the Mediterranean Countries: *Leucaena leucocephala* as an Alternative Protein Source: A Review. *Animals*, v. 11, n. 8, p. 2230, 29 jul. 2021.
- DE GROOT, Carolin; MÜLLER-GOYMANN, Christel. Saponin Interactions with Model Membrane Systems – Langmuir Monolayer Studies, Hemolysis and Formation of ISCOMs. *Planta Medica*, v. 82, n. 18, p. 1496–1512, 19 out. 2016.
- DIVEKAR, Pratap A. *et al.* Protease Inhibitors: An Induced Plant Defense Mechanism Against Herbivores. *Journal of Plant Growth Regulation*, v. 42, n. 10, p. 6057–6073, 28 out. 2023.
- DOERGE, Daniel R; SHEEHAN, Daniel M. Goitrogenic and estrogenic activity of soy isoflavones. *Environmental Health Perspectives*, v. 110, n. suppl 3, p. 349–353, jun. 2002.
- ERMER, Theresa *et al.* Oxalate homeostasis. *Nature Reviews Nephrology*, v. 19, n. 2, p. 123–138, 3 fev. 2023.
- FENG, Rong; CHEN, Liang; CHEN, Keping. Fermentation trip: amazing microbes, amazing metabolisms. *Annals of Microbiology*, v. 68, n. 11, p. 717–729, 13 nov. 2018.

- GALANTY, Agnieszka *et al.* Do Brassica Vegetables Affect Thyroid Function?—A Comprehensive Systematic Review. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 25, n. 7, p. 3988, 3 abr. 2024.
- GOTARDO, André Tadeu *et al.* Potential toxic effects produced by L-mimosine in the thyroid and reproductive systems. Evaluation in male rats. *Toxicon*, v. 203, p. 121–128, nov. 2021.
- HARPER, Aimee R. *et al.* Fermentation of plant-based dairy alternatives by lactic acid bacteria. *Microbial Biotechnology*, v. 15, n. 5, p. 1404–1421, 8 maio 2022.
- HOQUE, Mohammad Bellal *et al.* A comprehensive review of the health effects, origins, uses, and safety of tannins. *Plant and Soil*, v. 507, n. 1–2, p. 221–240, 28 fev. 2025.
- HUANG, Xinyi *et al.* Butyrate Alleviates Cytokine-Induced Barrier Dysfunction by Modifying Claudin-2 Levels. *Biology*, v. 10, n. 3, p. 205, 9 mar. 2021.
- HUYNH, Nha K.; NGUYEN, Duyen H.M.; NGUYEN, Ha V.H. Effects of processing on oxalate contents in plant foods: A review. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 112, p. 104685, set. 2022.
- JAIN, Monika *et al.* Insights into biological role of plant defense proteins: A review. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v. 40, p. 102293, mar. 2022a.
- JAIN, Monika *et al.* Insights into biological role of plant defense proteins: A review. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v. 40, p. 102293, mar. 2022b.
- JEYAKUMAR, Ebenezer; LAWRENCE, Rubina. Microbial fermentation for reduction of antinutritional factors. *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering*. [S.l.]: Elsevier, 2022. p. 239–260.
- KARAMAD, Dina *et al.* Probiotic Oxalate-Degrading Bacteria: New Insight of Environmental Variables and Expression of the *oxc* and *frc* Genes on Oxalate Degradation Activity. *Foods*, v. 11, n. 18, p. 2876, 16 set. 2022.
- KASHALA-ABOTNES, Espérance *et al.* Konzo: a distinct neurological disease associated with food (cassava) cyanogenic poisoning. *Brain Research Bulletin*, v. 145, p. 87–91, fev. 2019.
- KATO-NOGUCHI, Hisashi; KATO, Midori. Evolution of the Defense Compounds Against Biotic Stressors in the Invasive Plant Species *Leucaena leucocephala*. *Molecules*, v. 30, n. 11, p. 2453, 3 jun. 2025.
- KONG, Dehuang; SCHIPPER, Lidewij; VAN DIJK, Gertjan. Distinct Effects of Short Chain Fatty Acids on Host Energy Balance and Fuel Homeostasis With Focus on Route of Administration and Host Species. *Frontiers in Neuroscience*, v. 15, 22 out. 2021.

- KUMAR, Birendra; TIRKEY, Niketa; KUMAR, Sanjay. Chemical Science Review and Letters Anti-Nutrient in Fodders: A Review. *Chem Sci Rev Lett*, v. 6, n. 24, p. 2513–2519, 2017.
- LEEuwendaal, Natasha K. *et al.* Fermented Foods, Health and the Gut Microbiome. *Nutrients*, v. 14, n. 7, p. 1527, 6 abr. 2022.
- LI, Pengfei *et al.* Oxalate in Plants: Metabolism, Function, Regulation, and Application. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 70, n. 51, p. 16037–16049, 28 dez. 2022.
- LIU, Fengjuan *et al.* Metabolomics Approach To Understand Mechanisms of β -N-Oxalyl- α,β -diaminopropionic Acid (β -ODAP) Biosynthesis in Grass Pea (*Lathyrus sativus* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 65, n. 47, p. 10206–10213, 29 nov. 2017.
- LÓPEZ-MORENO, M.; GARCÉS-RIMÓN, M.; MIGUEL, M. Antinutrients: Lectins, goitrogens, phytates and oxalates, friends or foe? *Journal of Functional Foods*, v. 89, p. 104938, fev. 2022.
- LYU, Jiaheng *et al.* Impact of tannins on intraoral aroma release and retronasal perception, including detection thresholds and temporal perception by taste, in model wines. *Food Chemistry*, v. 375, p. 131890, maio 2022.
- MAŁACZEWSKA, Joanna; KACZOREK-ŁUKOWSKA, Edyta. Nisin—A lantibiotic with immunomodulatory properties: A review. *Peptides*, v. 137, p. 170479, mar. 2021.
- MANN, Elizabeth R.; LAM, Ying Ka; UHLIG, Holm H. Short-chain fatty acids: linking diet, the microbiome and immunity. *Nature Reviews Immunology*, v. 24, n. 8, p. 577–595, 2 ago. 2024.
- MARCO, Maria L *et al.* Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond. *Current Opinion in Biotechnology*, v. 44, p. 94–102, abr. 2017.
- MARTIN-GALLAUSIAUX, Camille *et al.* SCFA: mechanisms and functional importance in the gut. *Proceedings of the Nutrition Society*, v. 80, n. 1, p. 37–49, 2 fev. 2021.
- MOLOI, Sellwane Jeanette; NGARA, Rudo. The roles of plant proteases and protease inhibitors in drought response: a review. *Frontiers in Plant Science*, v. 14, 18 abr. 2023.
- MUKHERJEE, Arghya *et al.* Fermented foods and gastrointestinal health: underlying mechanisms. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, v. 21, n. 4, p. 248–266, 11 abr. 2024.
- NAITHANI, Sushma *et al.* Plant lectins and their many roles: Carbohydrate-binding and beyond. *Journal of Plant Physiology*, v. 266, p. 153531, nov. 2021.
- NAYAGAM, Justin R.; RAJAN, Renu. Calcium Oxalate Crystals as Raw Food Antinutrient: A Review. *Journal of Pharmaceutical Research International*, p. 295–301, 24 ago. 2021.

- OJO, Moses Ayodele. Tannins in Foods: Nutritional Implications and Processing Effects of Hydrothermal Techniques on Underutilized Hard-to-Cook Legume Seeds—A Review. *Preventive Nutrition and Food Science*, v. 27, n. 1, p. 14–19, 31 mar. 2022.
- ONDEVILLA, Joan Candice *et al.* Effect of the number of sugar units on the interaction between diosgenyl saponin and membrane lipids. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes*, v. 1865, n. 5, p. 184145, jun. 2023.
- PEETERS, Robin P; VISSER, Theo J. Metabolism of Thyroid Hormone. In: FEINGOLD, KENNETH *et al.* (Org.). *National Institutes of Health. Feingold KR*. South Dartmouth (MA): MDText.com, Inc, 2000. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK285545/>>. Acesso em: 3 dez. 2025.
- PERES FABRI, Laryssa *et al.* Bioactive Peptides from Fermented Foods: Production Approaches, Sources, and Potential Health Benefits. *Foods*, v. 13, n. 21, p. 3369, 23 out. 2024.
- PEREZ, Rodney Honrada; ZENDO, Takeshi; SONOMOTO, Kenji. Multiple bacteriocin production in lactic acid bacteria. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, v. 134, n. 4, p. 277–287, out. 2022.
- PETRY, Nicolai *et al.* Polyphenols and Phytic Acid Contribute to the Low Iron Bioavailability from Common Beans in Young Women. *The Journal of Nutrition*, v. 140, n. 11, p. 1977–1982, nov. 2010.
- RADOVIĆ, Branislav; MENTRUP, Birgit; KÖHRLE, Josef. Genistein and other soya isoflavones are potent ligands for transthyretin in serum and cerebrospinal fluid. *British Journal of Nutrition*, v. 95, n. 6, p. 1171–1176, 8 jun. 2006.
- RAM, Sewa *et al.* Anti-nutritional factors and bioavailability: approaches, challenges, and opportunities. *Wheat and Barley Grain Biofortification*. [S.l.]: Elsevier, 2020. p. 101–128.
- RAY, Ramesh C. *et al.* Food Fermentation and Its Relevance in the Human History. *Trending Topics on Fermented Foods*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. p. 1–57.
- ROSE, Elizabeth C. *et al.* Probiotics, Prebiotics and Epithelial Tight Junctions: A Promising Approach to Modulate Intestinal Barrier Function. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 22, n. 13, p. 6729, 23 jun. 2021.
- SALERI, Roberta *et al.* Effects of different short-chain fatty acids (SCFA) on gene expression of proteins involved in barrier function in IPEC-J2. *Porcine Health Management*, v. 8, n. 1, p. 21, 19 dez. 2022.
- SAMTIYA, Mrinal; ALUKO, Rotimi E.; DHEWA, Tejpal. Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: an overview. *Food Production, Processing and Nutrition*, v. 2, n. 1, p. 6, 6 dez. 2020.

- ŞANLIER, Nevin; GÖKCEN, Büşra Başar; SEZGIN, Aybüke Ceyhun. Health benefits of fermented foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 59, n. 3, p. 506–527, 4 fev. 2019.
- SAVARINO, Philippe *et al.* Mass spectrometry analysis of saponins. *Mass Spectrometry Reviews*, v. 42, n. 3, p. 954–983, 24 maio 2023.
- SEO, Myung-Ji. Fermented Foods and Food Microorganisms: Antioxidant Benefits and Biotechnological Advancements. *Antioxidants*, v. 13, n. 9, p. 1120, 16 set. 2024.
- SHARMA, Kartik *et al.* Saponins: A concise review on food related aspects, applications and health implications. *Food Chemistry Advances*, v. 2, p. 100191, out. 2023.
- SHARMA, Sakshi *et al.* Boaa. *Handbook of Plant and Animal Toxins in Food*. Boca Raton: CRC Press, 2022. p. 251–274.
- SINGH, Jyoti; ARORA, Simran Kaur. Antinutritional factors in plant based foods. *INTERNATIONAL JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCES*, v. 19, n. 1, p. 366–375, 15 jan. 2023.
- SINGH, Poornima *et al.* Classification, benefits, and applications of various anti-nutritional factors present in edible crops. *Journal of Agriculture and Food Research*, v. 14, p. 100902, dez. 2023.
- SINGH, Surya S; RAO, S L N. Lessons from neurolathyrism: a disease of the past & the future of Lathyrus sativus (Khesari dal). *The Indian journal of medical research*, v. 138, n. 1, p. 32–7, 2013.
- ŠOŠIĆ-JURJEVIĆ, Branka *et al.* Soy isoflavones interfere with thyroid hormone homeostasis in orchidectomized middle-aged rats. *Toxicology and Applied Pharmacology*, v. 278, n. 2, p. 124–134, jul. 2014.
- SUN, Xiao-Chen *et al.* Terrestrosin D, a spirostanol saponin from Tribulus terrestris L. with potential hepatorenal toxicity. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 283, p. 114716, jan. 2022.
- TADESSE, Daniel *et al.* Proximate, mineral, and anti-nutrient compositions of selected wild edible plants consumed in Northwestern Ethiopia. *Measurement: Food*, v. 19, p. 100243, set. 2025.
- TAHIR, Fizza *et al.* Cyanogenic glucosides in plant-based foods: Occurrence, detection methods, and detoxification strategies – A comprehensive review. *Microchemical Journal*, v. 199, p. 110065, abr. 2024.

- TAMANG, Jyoti Prakash *et al.* Fermented foods in a global age: East meets West. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v. 19, n. 1, p. 184–217, 3 jan. 2020.
- TANG, Zhanhui *et al.* Recent Advances of Tannase: Production, Characterization, Purification, and Application in the Tea Industry. *Foods*, v. 14, n. 1, p. 79, 31 dez. 2024.
- TENG, Kunling *et al.* Food and gut originated bacteriocins involved in gut microbe-host interactions. *Critical Reviews in Microbiology*, v. 49, n. 4, p. 515–527, 4 jul. 2023.
- THAKUR, Abhishek *et al.* An overview of anti-nutritional factors in food. ~ 2472 ~ *International Journal of Chemical Studies*, v. 7, n. 1, 2019.
- TIWARI, Divyanshi; DUBEY, Dharmendra Kumar. Adverse effects of antinutrients on human health: a systematic review. *International Journal of Scientific Reports*, v. 11, n. 2, p. 73–79, 24 jan. 2025.
- TYLLESKÄR, T. *et al.* Cassava cyanogens and konzo, an upper motoneuron disease found in Africa. *The Lancet*, v. 339, n. 8787, p. 208–211, jan. 1992.
- VASCONCELOS, Ilka M; OLIVEIRA, José Tadeu A. Antinutritional properties of plant lectins. *Toxicon*, v. 44, n. 4, p. 385–403, set. 2004.
- VINDEROLA, Gabriel *et al.* Fermented foods: a perspective on their role in delivering biotics. *Frontiers in Microbiology*, v. 14, 12 maio 2023.
- VOIDAROU, Chrysa *et al.* Fermentative Foods: Microbiology, Biochemistry, Potential Human Health Benefits and Public Health Issues. *Foods*, v. 10, n. 1, p. 69, 31 dez. 2020.
- WILLEMSEN, L E M. Short chain fatty acids stimulate epithelial mucin 2 expression through differential effects on prostaglandin E1 and E2 production by intestinal myofibroblasts. *Gut*, v. 52, n. 10, p. 1442–1447, 1 out. 2003.
- XU, Zhiqiang *et al.* Short-chain fatty acids: key antiviral mediators of gut microbiota. *Frontiers in Immunology*, v. 16, 25 jul. 2025.
- YAN, Hui; AJUWON, Kolapo M. Butyrate modifies intestinal barrier function in IPEC-J2 cells through a selective upregulation of tight junction proteins and activation of the Akt signaling pathway. *PLOS ONE*, v. 12, n. 6, p. e0179586, 27 jun. 2017.
- YILMAZ TUNCEL, Neşe *et al.* A Comprehensive Review of Antinutrients in Plant-Based Foods and Their Key Ingredients. *Nutrition Bulletin*, v. 50, n. 2, p. 171–205, 3 jun. 2025.
- ZAPAŚNIK, Agnieszka; SOKOŁOWSKA, Barbara; BRYŁA, Marcin. Role of Lactic Acid Bacteria in Food Preservation and Safety. *Foods*, v. 11, n. 9, p. 1283, 28 abr. 2022.

- ZAYED, Ahmed *et al.* Tannin in foods: Classification, Dietary Sources, and Processing Strategies to Minimize Anti-Nutrient Effects. *Food and Bioprocess Technology*, v. 18, n. 11, p. 9221–9249, 25 nov. 2025.
- ZHANG, Dan *et al.* Short-chain fatty acids in diseases. *Cell Communication and Signaling*, v. 21, n. 1, p. 212, 18 ago. 2023.
- ZHEN, Sun *et al.* Microbial fermentation technology for degradation of saponins from peony seed meal. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, v. 53, n. 10, p. 1263–1275, 16 nov. 2023.

CAPÍTULO II

UTILIZAÇÃO DE ALGAS NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS E BEBIDAS FERMENTADAS

THE USE OF ALGAE IN THE FERMENTED FOOD AND BEVERAGE INDUSTRY

DOI: 10.51859/ampla.iab6164-2

Ana Rafaela Machado de Andrade¹

Neide Kazue Sakugawa Shinohara²

Thayza Christina Montenegro Stamford³

Walter de Paula Pinto Neto⁴

¹ Bacharela em Ciências Biológicas. Universidade de Pernambuco – UPE

² Professora do Departamento de Tecnologia Rural. Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE

³ Professora do Departamento de Medicina Tropical. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

⁴ Doutor em Ciências Biológicas. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

RESUMO

As algas são a base da cadeia trófica marinha, ricas em proteínas, vitaminas, minerais e compostos bioativos com propriedades antioxidantes, antimicrobianas e anti-inflamatórias, além de apresentarem alta produtividade e baixo impacto ambiental. Apesar desses benefícios, apresenta características sensoriais indesejáveis, como odor marinho e textura fibrosa, que dificultam sua aplicação alimentar. Nesse contexto, a fermentação surge como uma estratégia promissora para melhorar as características sensoriais das algas e aumentar a biodisponibilidade de nutrientes. Portanto, este trabalho apresenta uma revisão bibliográfica sobre a utilização de algas na produção de alimentos e bebidas fermentadas, destacando seu potencial nutricional, funcional e biotecnológico. Com a fermentação, os microrganismos, como bactérias ácido-láticas, fungos filamentosos e leveduras, atuam na degradação de polissacarídeos complexos e na produção de metabólitos que contribuem para o desenvolvimento de aromas, sabores e compostos funcionais. Isso contribui para a qualidade nutricional e sensorial das algas, podendo ser aplicada em produtos lácteos, pães, kombuchas, cervejas, entre outros. No entanto, desafios como a presença de metais pesados, a baixa biodegradabilidade de alguns polissacarídeos, a complexidade da matriz da alga e a necessidade de padronização dos processos fermentativos ainda

limitam sua aplicação em larga escala. Dessa forma, estudos futuros são essenciais para otimizar técnicas de fermentação, selecionar microrganismos mais eficientes e promover maior aceitação pelo consumidor, contribuindo para o desenvolvimento de alimentos mais saudáveis e sustentáveis, que se aproximem dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Palavras-chave: Alimentos funcionais. Algas. Fermentação. Nutrientes.

ABSTRACT

Algae form the base of the marine trophic chain and are rich in proteins, vitamins, minerals, and bioactive compounds with antioxidant, antimicrobial, and anti-inflammatory properties. They also exhibit high productivity and low environmental impact. Despite these benefits, algae present undesirable sensory characteristics, such as a marine smell and fibrous texture, which hinder their use in food applications. In this context, fermentation emerges as a promising strategy to improve the sensory properties of algae and increase nutrient bioavailability. Therefore, this study presents a literature review on the use of algae in the production of fermented foods and beverages, highlighting their nutritional, functional, and biotechnological potential. Through fermentation, microorganisms such as lactic acid bacteria, filamentous fungi, and yeasts act on the

degradation of complex polysaccharides and the production of metabolites that contribute to the development of aromas, flavors, and functional compounds. This process enhances both the nutritional and sensory quality of algae, enabling their application in products such as dairy alternatives, breads, kombucha, beer, among others. However, challenges such as the presence of heavy metals, the low biodegradability of certain polysaccharides, the complexity of the algal matrix, and the need for standardization of fermentation

processes still limit their large-scale application. Thus, future studies are essential to optimize fermentation techniques, select more efficient microorganisms, and promote greater consumer acceptance, contributing to the development of healthier and more sustainable foods aligned with the Sustainable Development Goals (SDGs).

Keywords: Fermentation. Functional foods. Nutrients. Seaweed.

1. INTRODUÇÃO

As algas são seres vivos unicelulares ou multicelulares, eucariontes, fotossintetizantes, que formam a base da cadeia trófica marinha, servindo de alimentos para o zooplâncton e outros animais, e são as maiores produtoras de oxigênio, sendo importante para a sobrevivência de todos os seres vivos. O surgimento desses organismos no planeta foi de extrema importância, pois tornou a atmosfera um ambiente oxidante, permitindo que os seres vivos realizassem a respiração aeróbica, que culminou no desaparecimento de algumas espécies e surgimento de muitas outras. Classificam-se em microalgas unicelulares e macroalgas multicelulares, que se dividem pela composição dos pigmentos em marrons (Phaeophyceae), vermelhas (Rhodophyceae) e verdes (Chlorophyceae). Cada um desses grupos apresenta características biológicas e químicas distintas, sendo capaz de contribuir para a purificação da água, captura de carbono, entre outros serviços ecossistêmicos. As algas também apresentam um perfil nutricional pobre em lipídios e rico em proteínas, vitaminas, minerais, carboidratos e compostos bioativos, tornando-se de interesse para a indústria alimentícia (BRANDÃO et al., 2025; FERREIRA, 2025; MONTEIRO et al., 2021; NEVES et al., 2024; SOUSA et al., 2024).

Dentre os compostos bioativos presentes nas algas, há a presença de flavonoides, taninos, polifenóis, esteróides, alcalóides, aminoácidos, entre outros compostos que possuem atividade antioxidante, anti-inflamatória, anti-hipertensivas, antidiabéticas, fortalecedora do sistema imunológico e reguladora do metabolismo. De acordo com estudos realizados no Japão e na Coreia, foi possível constatar que o consumo de uma maior diversidade de algas e, com maior frequência, reduziram as chances de mortalidade por doenças cardiovasculares em 28%, de acidentes vasculares cerebrais (AVC) em 31 a 51% e de desenvolver diabetes mellitus tipo 2 em 7%. Além do benefício nutricional, as algas realizam alta produtividade de biomassa,

apresentam baixas exigências para seu crescimento, não dependendo de fertilizantes ou quaisquer aditivos agrícolas para serem produzidas por se desenvolverem de modo natural no ambiente marinho e, conseqüentemente, não precisam de terras férteis e nem de irrigação para sobreviver. Cerca de 98% da produção mundial é resultante do cultivo de espécies englobadas em 6 gêneros: *Kappaphycus*, *Laminaria*, *Gracilaria*, *Undaria*, *Porphyra* e *Sargassum* (BINGI et al., 2025; BRANDÃO et al., 2025; KIM; PARK, 2024; KISHIDA et al., 2020; MONTEIRO et al., 2021; SOUSA et al., 2024).

Atualmente, está previsto um aumento de US\$21 bilhões no mercado de algas marinhas até 2029 e cerca de 39% do consumo é proveniente do mercado de alimentos e bebidas. No entanto, os países asiáticos detêm 95% desse mercado, tendo em vista que sua culinária tradicional apresenta pratos que utilizam algas desde a antiguidade com técnicas de preparo que tornam a textura e o sabor da alga mais palatáveis. Na culinária, o sabor é um dos pontos mais importantes, por isso as algas não são fontes de proteínas amplamente utilizadas na preparação de pratos, sendo considerada uma das alternativas de carne de origem não animal menos escolhidas, segundo um estudo realizado nos Estados Unidos. Portanto, existem estudos dedicados ao processamento de alimentos como as algas para um melhor aproveitamento do seu potencial nutricional. Entre as alternativas apresentadas, há a fermentação, que é uma forma de processamento natural e sustentável, capaz de aumentar a disponibilidade de nutrientes, melhorar o sabor, reduzir os fortes odores e diminuir fatores indesejáveis, como taninos e fitatos, que reduzem a capacidade de absorção de proteínas (BINGI et al., 2025; MONTEIRO et al., 2021). Assim, o presente trabalho visa a revisão da bibliografia existente acerca da utilização de algas na elaboração de alimentos e bebidas fermentadas, apresentando as dificuldades e inovações existentes neste ramo da biotecnologia.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. NUTRIENTES E COMPOSTOS BIOATIVOS PRESENTES NAS ALGAS E O POTENCIAL NUTRICIONAL

As algas são organismos marinhos tradicionalmente utilizados na culinária oriental e também têm sido exploradas industrialmente na produção de substâncias ficocolóides, que são polissacarídeos com função espessante, estabilizante e gelificante. Isso ocorre desde 1600, quando o ágar foi extraído em água quente que continha algas vermelhas no Japão, as

algas, já consumidas em alimentos. A partir da Segunda Guerra Mundial, esse uso se expandiu para diversos países e em 2022 a aquicultura produziu 37,8 milhões de toneladas de algas, segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO). Esses organismos têm sido cultivados devido ao fato de serem importantes fontes de nutrientes (tabela 1) como fibras, vitaminas A, B1, B12, C, D e E, riboflavina, niacina, ácidos pantotênico e fólico, minerais, como Ca, P, Na e K, e proteínas. Além de produzirem compostos bioativos, que são substâncias de origem natural ou sintética capazes de desempenhar funções terapêuticas, fornecendo benefícios à saúde daqueles que os consomem (AMORIM; SANTOS, 2016; Seafood, 2024).

Tabela 1 – Principais compostos encontrados em algas.

Classes	Compostos
Polissacarídeos	Ulvanos, carragenanas, ágar, xilanas, alginatos, fucoidanas e laminarinas.
Minerais	Iodo, cálcio, fósforo, magnésio, ferro, sódio, potássio e cloro.
Lipídeos e ácidos graxos	Ácido linoleico, ácido eicosapentanóico, ácido araquidônico, fucoxantina e tocoferóis.
Carotenoides	α e β -caroteno, luteína, neoxantina, zeaxantina e violaxantina, fucoxantina e licopeno.
Vitaminas	Vitamina A, complexo B, C, E.
Proteínas (% peso seco)	Gênero <i>Porphyra</i> - 35% (maior teor) e ordem Laminariales - 7% (menor teor).

Fonte: Adaptado de Mouritsen (2013) e Cabral et al. (2011).

Dentre os polissacarídeos, as algas vermelhas se destacam pela produção de carragenanas, encontradas em sua parede celular, variando entre 30% a 60% do peso dela a depender de sua espécie, das condições de luz, nutrientes, temperatura e oxigenação. Tais compostos atuam de diferentes formas associados a cátions, podendo atuar como géis rígidos quando associados ao potássio (kappa-carragenana), com sais de cálcio atua como géis elásticos (iota-carragenana) e agentes não gelificantes devido a presença de sulfato (lambda-carragenana). Algumas algas também podem formar carragenanas de associação mista, podendo atuar com a retenção de água, gelificantes, emulsificantes e estabilizantes. Na indústria de bebidas e alimentos, as carragenanas são aplicadas desde o século XIX como clarificante de cervejas, tendo expandido seu uso para clarificação e refinamento de sucos, vinhos, vinagres, xaropes, molhos, produtos cárneos processados, entre outros. Também passaram a ser utilizadas em laticínios por reagir com a caseína, proteína do leite, formando

um gel suave agradável às papilas, tornando-se a principal aplicação alimentícia da produção mundial, podendo ser encontrado na composição de sorvetes, achocolatados, pudins, creme de leite etc. (AMORIM; SANTOS, 2016; CABRAL et al., 2011).

Além das carragenanas, o ágar também pode ser extraído de diversos gêneros de algas vermelhas, sendo resultado da mistura de polissacarídeos agarose e agarpectina, encontrados na parede celular. O ágar atua como agente gelificante, emulsificante e estabilizante muito utilizado na indústria alimentícia, quando possui baixos teores de sulfato, sendo aproveitadas as suas características de alta resistência ao calor e de baixo valor energético na produção de congelados, sucos de frutas e alimentos dietéticos. Outro composto ficocoloide é o alginato, que corresponde aos sais de ácido algínico formado por cadeias longas dos ácidos L-glururônico e D-manurônico, sendo extraído da parede celular de algas pardas, sobretudo dos gêneros *Macrocystis* sp., *Laminaria* sp. e *Ascophyllum* sp. Ele pode se associar aos sais de sódio, cálcio, potássio ou magnésio, formando soluções solúveis em água, que podem conferir a ele alta viscosidade, além de possuírem propriedades estabilizantes, espessantes, gelificantes e formadoras de película, que são aplicadas na indústria alimentícia, principalmente para evitar a formação de bolhas em cervejas e reduzir a formação de cristais de gelo mesmo que os alimentos sejam submetidos a temperaturas baixas (AMORIM; SANTOS, 2016; CABRAL et al., 2011).

Além de substâncias ficocoloides, as algas produzem inúmeros metabólitos secundários, que têm sido estudados por suas propriedades para serem aplicados na indústria alimentícia, principalmente em alimentos funcionais. Aproximadamente, 3000 metabólitos secundários presentes em macroalgas são conhecidos atualmente, sendo 1500 presentes em algas vermelhas, predominando os compostos halogenados (70%), distribuídos na classe dos terpenos, acetogeninas e compostos fenólicos, principalmente. Entre as algas verdes, são conhecidos 300 metabólitos secundários, pertencentes à classe dos terpenos, mas apenas 11% são halogenados. Já nas algas pardas, apenas 1140 metabólitos são conhecidos, sendo apenas 4% halogenados e a maioria pertencentes à classe dos terpenos e dos compostos fenólicos. Cada um desses metabólitos desempenha funcionalidades biológicas importantes, sendo classificados de acordo com elas em: antioxidante, antibacteriana, antiviral e anticancerígeno (AMORIM; SANTOS, 2016; CABRAL et al., 2011).

A atividade antioxidante das macroalgas é proveniente de compostos da classe dos terpenos e compostos fenólicos, que atuam contra o estresse oxidativo no qual as algas são

submetidas, normalmente devido às mudanças de luz, nutrientes, concentração de gases, temperatura e salinidade do ambiente marinho. Os carotenoides, pertencentes a classe dos terpenos, atuam como pigmentos acessórios na fotossíntese e como antioxidante. Por outro lado, os compostos fenólicos podem atuar como doadores de hidrogênio, impedindo a oxidação de moléculas, ou como quelantes de metais, que sequestram íons metálicos que catalisam as oxidações lipídicas. Nas algas pardas, a atividade antioxidante é principalmente proveniente de um polifenol, os florotaninos, que não estão presentes nas algas verdes e vermelhas, mas estas possuem as micosporinas, um tipo de aminoácido que possui atividade antioxidante assim como seu precursor, o 4-deoxygadusol (AMORIM; SANTOS, 2016; CABRAL et al., 2011).

As macroalgas também possuem compostos que realizam atividade antibacteriana, como os halogenos, terpenos e substâncias fenólicas. Nas algas vermelhas, há as furanonas halogenadas ou fimbrolídeos, que possuem atividade anti-incrustante, impedindo bactérias de formarem biofilmes, por isso tem sido estudadas para o controle de bactérias gram-negativas causadoras de infecções, como *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Serratia liquefaciens*, *Proteus mirabilis* e espécies do gênero *Vibrio*, e também possuem os terpenos halogenados, como o laurinterol, isolado de *Laurencia okamurae* que atua contra cepas de *Staphylococcus aureus* (Gram-positiva). Nas algas verdes, como em *Ulva fasciata*, que possui sesquiterpenos guaianos, capazes de atuar contra bactérias do gênero *Vibrio*, e nas algas pardas, os florotaninos (polifenóis) atuam inibindo o crescimento de bactérias *S. aureus*, impedindo a fosforilação oxidativa e causando a lise celular, ao se ligar às proteínas da membrana. Esses compostos, sobretudo o bieckol e o dieckol, também inibem a atividade viral, impedindo a transcriptase reversa e a transcrição. Na *Ecklonia cava*, alga parda, o floroglucinol inibiu a transcriptase reversa do HIV (RT-HIV), efeito semelhante ao fármaco utilizado no tratamento da doença. Ademais, terpenos isolados de algas tiveram atuação contra RT-HIV e contra o vírus da herpes, como diterpenos, isolados de *Dictyota menstrualis*, dolabelano e o dolabelladienetriol, isolados de *Dictyota pfaffi*. Este último também inibe a produção de DNA viral pelas células infectadas (AMORIM; SANTOS, 2016; CABRAL et al., 2011).

As algas também produzem substâncias que pesquisadores têm investigado seus efeitos anticarcinogênicos. Por exemplo, as algas verdes do gênero *Bryopsis* possuem um peptídeo formado por aminoácidos intercalados por ácidos carboxílicos (depsipeptídeo), Kahalalide F, com atividade citotóxica, sendo estudado para o tratamento de melanoma,

carcinoma hepatocelular e câncer de pulmão. Já as algas vermelhas do gênero *Laurencia* possuem uma substância semelhante aos sesquiterpenos, chamada Dactilone, que apresenta atividade antitumoral contra células cancerígenas no cólon. Nas algas pardas, os meroditerpenos isolados demonstraram capacidade de supressão de células de neuroblastoma humano (SH-SY5Y), leucemia basofílica em ratos (RBL-2H3), fibroblastos de hamster chinês (V79) e células de adenocarcinoma do cólon humano (Caco-2). Além disso, a alga parda, *Sargassum muticum*, também produz extratos metanólicos capazes de inibir o crescimento de células cancerígenas, sobretudo do câncer de mama MCF-7 e MDA-MB-231. Nas algas vermelhas, esteróis extraídos de *Porphyra dentata* também são supressoras de atividades mieloides, diminuindo o tamanho dos tumores. Assim, é possível perceber a importância de metabólitos secundários produzidos por diversas espécies dos três grandes grupos de algas por sua atividade biológica, tornando-se de interesse para indústria médica, de alimentos e de bebidas funcionais (AMORIM; SANTOS, 2016; CABRAL et al., 2011).

2.2. INTERAÇÕES ENTRE AS ALGAS E OS MICRORGANISMOS FERMENTADORES

A fermentação é um processo em que há a conversão de substâncias contendo carbono, como os carboidratos, em moléculas menores e energia, mediado por microrganismos, que utilizam um substrato para realizar essa conversão. Esses substratos podem ser obtidos através das algas, que correspondem a uma fonte de polissacarídeos de baixo custo de obtenção. Tais carboidratos são convertidos em açúcares mais simples e, posteriormente, em piruvato, que é convertido em bioprodutos a depender do microrganismo envolvido. Na indústria alimentícia e de produção de bebidas, as algas têm despertado o interesse do mercado consumidor, por apresentar baixo custo de produção e fornecer grande quantidade de nutrientes e compostos. No entanto, apesar dos compostos desejáveis, o perfil sensorial da alga é marcado por apresentar sabores de peixe, odores marinhos e uma textura fibrosa e elástica, proveniente principalmente de aldeídos voláteis. Portanto, a fermentação de algas tem sido estudada como uma forma de unir a grande quantidade de substrato fornecido pelas algas à capacidade dos microrganismos de tornar desejáveis as características sensoriais das algas (BABICH et al., 2024; DAMASO, 2021).

Na fermentação bacteriana de algas, são utilizadas as cepas de espécies conhecidas como *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei* e *Bacillus subtilis*, que apresentam capacidade de acidificação e quebra das moléculas em metabólitos capazes de alterar as

propriedades sensoriais indesejáveis. Por exemplo, a fermentação de algas verdes do gênero *Ulva* sp. com *B. subtilis* aumentou o teor de cetonas e de 2-heptanona, que é responsável por sabores frutados e de canela, também reduziu consideravelmente (de 100% para 44%) os aldeídos responsáveis por sabores indesejáveis. Em algas pardas da espécie *Saccharina latissima*, com cepas de *Lactobacillus casei* e *Lactobacillus plantarum*, apresentaram um aumento na concentração de glutamato e aspartato, que intensificaram os sabores desejáveis e reduziram o odor de mar e a textura viscosa, respectivamente. As algas vermelhas, por sua vez, demonstraram ser boas produtoras de ácido lático e etanol, quando espécies de *Gracilaria vermiculophylla* foram fermentadas com cepas de *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei* e *Lactobacillus acidophilus*, associadas a uma solução salina (BINGI et al., 2025; MONTEIRO et al., 2021).

Os fungos também são importantes microrganismos fermentadores, tanto os filamentosos (bolores) quanto as leveduras. A fermentação de fungos filamentosos das espécies *Rhizopus microsporus*, *Monascus purpureus*, *Trichoderma reesei* e *Aspergillus oryzae* foi capaz de produzir enzimas capazes de digerir polissacarídeos e produzir nutrientes e compostos aromáticos, alterando o perfil sensorial e bioquímico. A alga parda, *Saccharina japonica*, fermentada com *M. purpureus* aumentou a produção de álcool benzílico, linalol, alanina e treonina, que produzem sabor adocicado e melhoram o odor, já a sua fermentação com *A. oryzae* aumenta a concentração de aminoácidos umami (glutamato) e reduz o ácido isovalérico, o isotiocianato de alila, entre outros que contribuem para o odor desagradável. Na fermentação por leveduras, sobretudo *Saccharomyces* spp. e *Candida* spp., há uma baixa influência no sabor e na textura, porém contribui para a redução de compostos responsáveis pelo odor desagradável, como 1-octen-3-ol e (*E*)-2-nonenal, e aumento de compostos que trazem um aroma frutado e floral, como β -ionona e β -ciclocitral, conforme observado na fermentação da alga vermelha *Bangia fuscopurpurea* por *S. cerevisiae* (BABICH et al., 2024; BINGI et al., 2025; MONTEIRO et al., 2021).

Apesar das leveduras apresentarem baixa influência no aspecto e no sabor, produzem importantes compostos aromáticos, por isso alguns estudos utilizam a combinação entre bactérias ácido lácticas e leveduras ou outros fungos, sendo denominada fermentação mista. Esse tipo de fermentação foi aplicado em *Pyropia yezoensis*, que teve seus nutrientes e sabor e odor melhorados, devido a fermentação de *M. purpureus* com *S. cerevisiae* e *L. plantarum*. Tal fato se repetiu na fermentação da *Alaria esculenta* e *S. latissima* com um SCOBY de

kombucha (conjunto de bactérias e leveduras simbióticas) contendo *S. cerevisiae* e *Lactobacillus paracasei*, demonstrando que a fermentação mista une a atividade enzimática e a função dos metabólitos produzidos, melhorando a qualidade nutricional e sensorial (BABICH et al., 2024; BINGI et al., 2025).

2.3. UTILIZAÇÃO DE ALGAS NA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS E BEBIDAS FERMENTADAS

Conforme demonstrado, a fermentação de algas para produção de alimentos vem sendo estudada para melhorar as características sensoriais, nutricionais e funcionais. Por exemplo, as algas vermelhas do gênero *Pyropia*, também conhecidas como nori, são utilizadas para incorporação de pratos de origem asiática, como sushi, temaki, kimbap, entre outros, porém seus nutrientes ficam envoltos pela parede celular composta por carboidratos incapazes de serem digeridos pelo trato gastrointestinal humano. Assim, a fermentação destas algas por leveduras e bactérias ácido lácticas degradam os polissacarídeos e liberam os compostos bioativos, como flavonoides, fenólicos e aminoácidos, que contém atividade antioxidante, antidiabética e reguladora, como mencionado anteriormente. Esse tipo de processamento que auxilia no melhoramento do valor nutricional do alimento. Em um estudo realizado por MAIORANO et al. (2022) foi demonstrado que a fermentação da alga marinha *Gracilaria gracilis* com *Lactobacillus acidophilus* apresentou maior atividade lipase, protease, amilase e endoxilanase, também apresentou quantidade significativa de ácidos graxos de boa qualidade e das vitaminas A e E, bem como foi responsável por reduzir a concentração de compostos insolúveis e não digeríveis. Ademais, a fermentação manteve a propriedade antimicrobiana das algas, constatando que não havia microrganismos patogênicos, contribuindo para a segurança alimentar (MAIORANO et al., 2022; YANG; LIN; FU, 2025).

Os alimentos e bebidas produzidos pela fermentação de algas não só apresentam muitos benefícios à saúde, mas também podem resultar em uma alternativa para pessoas com alergias alimentares, como os intolerantes à lactose. Atualmente, a fermentação da microalga comercial *Arthrospira platensis*, de algas verdes do gênero *Ulva* e de algas pardas do gênero *Laminaria* por bactérias ácido lácticas têm sido amplamente utilizada para a produção de lácteos, como queijos, iogurtes, requeijão e creme de leite, e também de pães, chocolates, e refrigerantes, demonstrando ser um ótimo substrato para o crescimento dos microrganismos probióticos, resultando em uma grande quantidade de proteínas em relação à biomassa,

aumento no teor de compostos fenólicos e da atividade antioxidante (BABICH et al., 2024; MONTEIRO et al., 2021).

Além de bebidas lácteas, as bebidas simbióticas, como a kombucha, que é desenvolvida à base de chá também podem ser produzidas a partir da suplementação com algas. Um estudo testou a produção de bebidas por meio da fermentação com *Lactobacillus* e SCOBY, utilizando a alga marinha *Eucheuma Cottonii*, demonstrando que a presença da alga representou um aumento na biodisponibilidade de nutrientes e compostos bioativos, diminuição na quantidade de proteínas, mas que na bebida fermentada com SCOBY ainda se manteve significativa, maior teor alcoólico, crescimento da atividade antioxidante e ainda na bebida produzida com SCOBY, houve uma maior produção de flavonoides e compostos fenólicos. Outra bebida produzida a partir da fermentação alcoólica que utiliza algas é a cerveja. Conforme apresentado na seção 2.1, as algas são importantes clarificantes de cervejas, devido à carragenana, extraída de algas vermelhas, que atua na remoção de proteínas que tornam a bebida turva (ALI et al., 2025). Por causa dos benefícios apresentados, o consumo de algas e sua utilização no preparo de alimentos e bebidas fermentadas está aumentado, porém ainda existem barreiras que precisam ser superadas para consolidar essa aplicação biotecnológica.

2.4. DESAFIOS RELACIONADOS À APLICAÇÃO DE ALGAS NA FERMENTAÇÃO

Diante de todos os benefícios apresentados, é inegável a importância das algas para o futuro da indústria de alimentos e de bebidas funcionais fermentadas. No entanto, também há fatores limitantes, como a contaminação por metais pesados, devido a bioacumulação, podendo ser encontrados metais pesados em algas a depender da espécie, local e época da colheita. Na pesquisa de ALI et al. (2025), foram encontrados cádmio e mercúrio nas bebidas fermentadas à base de *Eucheuma Cottonii*, mas em quantidades aceitáveis pelos padrões da Food and Drug Administration (FDA). Para isso, a fermentação e o branqueamento têm demonstrado um importante papel na redução desses compostos, mas ainda é necessária uma otimização desses processos para obter resultados mais consistentes para todos os tipos de algas marinhas (ALI et al., 2025; BINGI et al., 2025).

Outro fator limitante corresponde aos aspectos bioquímicos e microbiológicos das algas, pois estas apresentam carboidratos com baixa biodegradabilidade, como o alginato, carragenina e ulvana, que demonstraram ser resistentes às colônias de bactérias intestinais

de *Bifidobacterium* e *Lactobacillus acidophilus*. As algas também apresentam pH geralmente alcalino e possuem capacidade tamponante, que dificultam o processo de acidificação necessário para o crescimento de bactérias ácido lácticas, necessitando a introdução de culturas iniciais que podem comprometer o sabor e o aspecto nutricional do alimento. Além disso, os microrganismos podem ter sua ação limitada pela presença de florotanimos em algumas algas, que apresentam efeito antimicrobiano, podendo limitar o crescimento dos microrganismos fermentadores e causar a deterioração deles. Todos esses fatores, somados à necessidade de compatibilidade das cepas, à temperatura e complexidade físico-química das algas, limitam a criação de protocolos que otimizem o processo de fermentação. Portanto, são necessários mais estudos para transpor essas barreiras e criar um método de utilização desse processamento em nível industrial, transformando as algas marinhas em alimentos funcionais agradáveis e amplamente consumidos (BABICH et al., 2024; BINGI et al., 2025; MONTEIRO et al., 2021).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Assim, é possível perceber que as algas marinhas constituem uma importante matéria-prima para a indústria de alimentos e bebidas fermentadas, devido ao seu elevado valor nutricional, riqueza em compostos bioativos e potencial funcional, contribuindo para o cumprimento dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), sobretudo de fome zero (ODS 2) e saúde e bem-estar (ODS 3). Além disso, destacam-se como recurso sustentável, com alta produtividade e baixo impacto ambiental, alinhando-se às demandas da ODS 12 de consumo e produção sustentáveis.

A aplicação das algas na indústria de fermentados funciona como uma estratégia biotecnológica eficaz para superar limitações sensoriais das algas, como odor e textura indesejáveis, ao mesmo tempo em que promove o aumento da biodisponibilidade de nutrientes e a formação de compostos aromáticos e funcionais. No entanto, os estudos atuais realizam testes em escala laboratorial, mas ainda não foi encontrada uma forma de superar as barreiras que envolvem a presença de metais pesados, a baixa biodegradabilidade de certos polissacarídeos, a complexidade da matriz das algas e a necessidade de padronização dos processos fermentativos. Portanto, são necessários mais trabalhos científicos como este que reúnam informações que contribuam para que mais pesquisas sejam realizadas a fim de

superar os desafios apresentados para produção de alimentos e bebidas fermentadas à base de algas para a ampliação dessa produção em escala mundial

REFERÊNCIAS

- ALI, Muhammad Qasim *et al.* Quality characteristics and antioxidant activity of fermented symbiotic beverages supplemented with *Eucheuma cottonii*. **Discover Food**, 1 set. 2025. v. 5, n. 1, p. 292.
- AMORIM, Ana Maria; SANTOS, Janaína Pires. Compostos bioativos de macroalgas. In: AMORIM, Ana Maria *et al.* **VI Botanica no Inverno 2016**. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2016. Cap. 24. p. 1-223. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Carolina-Kleingesinds/publication/324744075_Sinalizacao_entre_plantas_e_bacterias/links/5a9df970f7e9b285945e501/Sinalizacao-entre-plantas-e-bacterias.pdf#page=119. Acesso em: 20 mar. 2026.
- BABICH, O. *et al.* Fermentation of micro- and macroalgae as a way to produce value-added products. **Biotechnology Reports**, mar. 2024. v. 41. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215017X23000474#sec0002>. Acesso em: 20 mar. 2026.
- BINGI, A. K. *et al.* Seaweed Fermentation: A Potential Key to Enhancing Sensory Properties and Consumer Acceptance. **Journal of Food Science**, 2025. v. 90, n. 10. Disponível em: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1750-3841.70594>. Acesso em: 20 mar. 2026.
- BRANDÃO, M. *et al.* Lactic Acid Bacteria and Yeast Fermentation to Improve the Nutritional Value of *Ulva rigida*. **Marine Drugs**, 27 fev. 2025. v. 23, n. 3. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-3397/23/3/106>. Acesso em: 20 mar. 2026.
- CABRAL, I. S. R. *et al.* PRODUTOS NATURAIS DE ALGAS MARINHAS E SEU POTENCIAL ANTIOXIDANTE E ANTIMICROBIANO. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, 2011. v. 29, n. 2. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/alimentos/article/view/25481>. Acesso em: 23 mar. 2026.
- FERREIRA, Ana Lucia. **Rede de pesquisa internacional aposta em algas marinhas como alimento sustentável do futuro**. Embrapa. 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/104881702/rede-de-pesquisa-internacional-aposta-em-algas-marinhas-como-alimento-sustentavel-do-futuro#:~:text=%E2%80%9D%2C%20ressalta%20Foga%C3%A7%C3%A3o%20expectativa%20C3%A9%20que%20ao%20final%20do%20projeto%20estejam%20dispon%C3%ADveis,g%C3%B4ndolas%20e%20mesas%20do%20futuro>. Acesso em: 20 mar. 2026.

- KIM, C.; PARK, K. Association between seaweed intake and risk of type 2 diabetes mellitus: a prospective cohort study. **British Journal of Nutrition**, 14 abr. 2024. v. 131, n. 7, p. 1259–1267.
- KISHIDA, R. *et al.* Frequency of Seaweed Intake and Its Association with Cardiovascular Disease Mortality: The JACC Study. **Journal of Atherosclerosis and Thrombosis**, 1 dez. 2020. v. 27, n. 12, p. 1340–1347.
- MAIORANO, G. *et al.* The Controlled Semi-Solid Fermentation of Seaweeds as a Strategy for Their Stabilization and New Food Applications. **Foods**, 11 set. 2022. v. 11, n. 18. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/11/18/2811>. Acesso em: 20 mar. 2026.
- MÔNICA CARAMEZ TRICHES DAMASO (Brasil). Embrapa. **Fermentação**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/tecnologia-de-alimentos/processos/tipos-de-processos/fermentacao>. Acesso em: 20 mar. 2026.
- MONTEIRO, P. *et al.* Seaweeds as a Fermentation Substrate: A Challenge for the Food Processing Industry. **Processes**, 30 out. 2021. v. 9, n. 11. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-9717/9/11/1953>. Acesso em: 20 mar. 2026.
- MOURITSEN, Ole. **The Science of Seaweeds**: marine macroalgae benefit people culturally, industrially, nutritionally, and ecologically.. Marine macroalgae benefit people culturally, industrially, nutritionally, and ecologically.. 2013. Disponível em: <https://www.americanscientist.org/article/the-science-of-seaweeds>. Acesso em: 20 mar. 2026.
- NEVES, Filipe Guilherme Ramos Costa *et al.* **Algas marinhas: origens**. 2024. Disponível em: <https://www.bioicos.org.br/post/algas-marinhas-origens>. Acesso em: 20 mar. 2026.
- SEAFOOD (São Paulo) (comp.). **FAO/Sofia 2024: Pela primeira vez, a aquicultura global supera a pesca**: produção global de aquicultura e pesca atingiu um novo recorde em 2022. Produção global de aquicultura e pesca atingiu um novo recorde em 2022. 2024. Disponível em: <https://www.seafoodbrasil.com.br/fao-sofia-2024-pela-primeira-vez-a-aquicultura-global-supera-a-pesca>. Acesso em: 20 mar. 2026.
- SOUSA, Júlia Barros de *et al.* Incorporação de algas em produtos lácteos: benefícios nutricionais e desafios sensoriais. **Revista Técnica da Agroindústria**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 2, dez. 2024. Disponível em: <https://revistadaagroindustria.com.br/Pdf/Artigo%20te%CC%81cnico%20122.2024%20-%20julia.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2026.
- YANG, Y.; LIN, H.; FU, X. Fermentation of *Pyropia* spp. seaweed: a comprehensive review on processing conditions, biological activities and potential applications in the food industry. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 17 set. 2025. v. 65, n. 25, p. 4964–4979.

CAPÍTULO III

PRODUÇÃO DE CELULOSE BACTERIANA EM SUBSTRATOS ALTERNATIVOS: UMA BREVE REVISÃO

BACTERIAL CELLULOSE PRODUCTION USING ALTERNATIVE SUBSTRATES: A BRIEF REVIEW

DOI: 10.51859/ampla.iab6164-3

Alice da Conceição Alves de Lima¹
Dayanna Kelly Marques de Oliveira²
Viviane Fonseca Caetano³
Glória Maria Vinhas⁴

¹ Doutoranda do curso de Engenharia Química. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química – UFPE

² Doutoranda do curso de Ciência dos Materiais. Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais – UFPE

³ Pesquisadora do Programa de Capacitação Institucional. Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste - CETENE

⁴ Professora do Departamento de Engenharia Química. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

RESUMO

A celulose bacteriana (CB) é um biopolímero de crescente interesse científico e industrial devido às suas propriedades diferenciadas, como alta pureza, elevada cristalinidade, biocompatibilidade e resistência mecânica, o que favorece sua aplicação em diversos setores, incluindo as áreas biomédica, ambiental, cosmética e alimentícia. Produzida por processos fermentativos, a CB destaca-se especialmente na indústria de alimentos e bebidas fermentadas, onde pode atuar como matriz estrutural comestível, modificador de textura, estabilizante e componente de embalagens ativas. No entanto, o elevado custo de produção associado aos meios de cultivo convencionais ainda representa um desafio para sua aplicação em larga escala. Nesse contexto, o presente trabalho realiza uma breve revisão sobre a produção de celulose bacteriana a partir de substratos alternativos. São abordados os aspectos gerais e as principais aplicações da CB, bem como uma análise comparativa entre sua produção em substratos convencionais e alternativos, com ênfase no uso de resíduos agroindustriais como fontes de carbono e nutrientes. Além disso, discutem-se os impactos desses substratos no rendimento e nas propriedades da celulose bacteriana, assim como os principais desafios, limitações e perspectivas futuras relacionados à viabilidade econômica e sustentável do processo. De modo geral, os estudos analisados indicam que o uso de substratos alternativos constitui uma estratégia promissora

para a redução de custos, valorização de resíduos e fortalecimento de abordagens sustentáveis e inovadoras, especialmente no contexto da cadeia de alimentos e bebidas fermentadas.

Palavras-chave: Biopolímeros. Celulose bacteriana. Substratos alternativos. Resíduos agroindustriais.

ABSTRACT

Bacterial cellulose (BC) is a biopolymer of growing scientific and industrial interest due to its distinctive properties, such as high purity, high crystallinity, biocompatibility, and mechanical strength, which favor its application in various sectors, including biomedical, environmental, cosmetic, and food industries. Produced through fermentative processes, BC stands out particularly in the fermented food and beverage industry, where it can act as an edible structural matrix, texture modifier, stabilizer, and component of active packaging. However, the high production cost associated with conventional culture media still represents a challenge for its large-scale application. In this context, the present work provides a brief review on the production of bacterial cellulose from alternative substrates. The general aspects and main applications of BC are addressed, as well as a comparative analysis between its production in conventional and alternative substrates, with emphasis on the use of agro-industrial residues as carbon and nutrient sources. In addition, the impacts of these substrates on yield and on the

properties of bacterial cellulose are discussed, as well as the main challenges, limitations, and future perspectives related to the economic and sustainable feasibility of the process. Overall, the analyzed studies indicate that the use of alternative substrates constitutes a promising strategy for cost reduction, waste valorization, and the

strengthening of sustainable and innovative approaches, especially within the fermented food and beverage supply chain.

Keywords: Biopolymers. Bacterial cellulose. Alternative substrates. Agro-industrial residues.

1. INTRODUÇÃO

A celulose bacteriana (CB) é um biopolímero nanoestruturado que tem atraído crescente atenção da comunidade científica e industrial, especialmente pelo seu potencial para aplicações inovadoras e para o desenvolvimento de produtos de alto valor agregado (García-Sánchez *et al.*, 2020). Do ponto de vista estrutural, a celulose, seja de origem vegetal ou bacteriana, consiste em um homopolímero formado por unidades de D-glucopiranosose interligadas por ligações glicosídicas $\beta(1\rightarrow4)$ (Pacheco *et al.*, 2017).

No entanto, a CB se diferencia da celulose vegetal por ser produzida por microrganismos em condições controladas, apresentando elevada pureza, alta cristalinidade e uma rede tridimensional nanoestruturada. A produção de CB ocorre por meio de fermentação oxidativa realizada por bactérias acéticas, em meios de cultivo sintéticos ou não sintéticos, sendo *Komagataeibacter xylinus* (anteriormente conhecida como *Acetobacter xylinum*) uma das cepas mais estudadas e eficientes. Essa bactéria aeróbica gram-negativa é capaz de assimilar diversos açúcares como fonte de carbono e produzir elevados rendimentos de celulose em meio líquido, operando de forma eficiente em faixas de pH entre 3 e 7 e temperaturas entre 25 e 30 °C (Esa *et al.*, 2014). Em condições estáticas de cultivo, *K. xylinus* forma biofilmes na interface líquido/ar, os quais favorecem a captação de oxigênio e atuam como barreira física, protegendo as bactérias contra a radiação ultravioleta e compostos tóxicos, ao mesmo tempo em que aumentam a capacidade de colonização do substrato e permitem a retenção de umidade (García-Sánchez *et al.*, 2020).

A produção de CB em larga escala ainda enfrenta limitações significativas, principalmente relacionadas às condições de cultivo e aos elevados custos de produção. Em sistemas estáticos, apesar de apresentarem maior produtividade, a implementação em escala industrial é mais complexa. Por outro lado, em condições de cultivo sob agitação, observa-se frequentemente menor rendimento de CB, associado ao desenvolvimento de mutantes celulolíticos negativos, os quais comprometem a eficiência do bioprocessamento. Além disso, os

altos custos dos meios de cultivo convencionais representam um fator limitante relevante (Esmail *et al.*, 2025). Nesse contexto, uma estratégia promissora para viabilizar a produção de CB em larga escala consiste na utilização de resíduos agroindustriais como fontes alternativas de carbono e/ou nitrogênio, contribuindo tanto para a redução dos custos de produção quanto para a diminuição dos gastos relacionados ao descarte e à gestão desses resíduos (Amanda *et al.*, 2025). Diversos estudos têm demonstrado o sucesso dessa abordagem, empregando, por exemplo, resíduos de polpa de banana (Martinez *et al.*, 2025), resíduo de molho de soja (Amanda *et al.*, 2025), resíduos de pão (Güzel, 2025), açúcares redutores provenientes de resíduos da indústria têxtil de algodão (Pandey *et al.*, 2025), bem como resíduos de frutas cítricas, borra de café e chá preto (Sabatini *et al.*, 2025).

A produção de celulose bacteriana em substratos alternativos representa uma estratégia inovadora alinhada às tendências atuais da indústria de alimentos e bebidas fermentadas, especialmente no que se refere à valorização de subprodutos agroindustriais e ao desenvolvimento de sistemas sustentáveis baseados em fermentação (Feng *et al.*, 2024). Diante desse contexto, este trabalho tem como objetivo apresentar uma breve revisão sobre a produção de celulose bacteriana utilizando substratos alternativos, com ênfase nas diferentes fontes renováveis e resíduos agroindustriais explorados como meios de cultivo, bem como nos impactos desses substratos sobre o rendimento do processo e as propriedades do biopolímero obtido. Além disso, são discutidos os principais desafios, limitações e perspectivas futuras associadas ao uso de substratos de baixo custo, destacando sua relevância para a redução dos custos de produção, a valorização de resíduos e o fortalecimento de estratégias alinhadas aos princípios da sustentabilidade e da economia circular, visando ampliar a viabilidade tecnológica e industrial da celulose bacteriana.

2. ASPECTOS GERAIS DA CELULOSE BACTERIANA E APLICABILIDADE

A celulose bacteriana é um exopolissacarídeo natural sintetizado por diferentes bactérias, incluindo as espécies dos gêneros *Komagataeibacter* (*Acetobacter*), *Agrobacterium*, *Aerobacter*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Azotobacter*, *Rhizobium*, *Sarcin*, *Salmonella*, entre outras (Inoue *et al.*, 2020). Estruturalmente, trata-se de um homopolímero de unidades de $\beta(1\rightarrow4)$ -D-glicose, semelhante à celulose vegetal, porém caracterizado por elevada pureza,

alta cristalinidade e uma rede tridimensional de nanofibrilas, uma vez que é produzida livre de lignina, hemicelulose e outros componentes associados às plantas (Bilgi *et al.*, 2021).

Essas características conferem à celulose bacteriana propriedades diferenciadas, como alta capacidade de retenção de água, biocompatibilidade, não toxicidade, resistência mecânica e facilidade de modificação, o que a torna um material altamente versátil (De Lima *et al.*, 2025). Em função dessas propriedades, conforme apresentado na Tabela 1, a celulose bacteriana tem se mostrado promissora para aplicações em diversos setores industriais, incluindo os segmentos biomédico, alimentício, odontológico, cosmético e ambiental, com destaque para o uso em sistemas de filtração e remediação de água e efluentes, entre outras aplicações emergentes.

Tabela 1 - Produção de celulose bacteriana para diferentes aplicações

Composição da matriz polimérica	Microrganismo utilizado	Aplicação	Referência
Celulose bacteriana/gelatina.	<i>Acetobacter xylinum</i>	Curativos ou em engenharia de tecidos.	Cai; Kim, 2010.
Celulose bacteriana/nanopartículas de vanádio.	<i>Gluconacetobacter xylinum</i>	Biossensores e dispositivos ópticos.	Gutierrez <i>et al.</i> , 2012.
Celulose bacteriana/polidimetilsiloxano/perfluorocarbono.	-	Indústrias têxtil e calçadista.	Fernandes <i>et al.</i> , 2019.
Celulose bacteriana.	<i>Gluconacetobacter xylinus</i> ATCC 23769	Filtro para remediação de água.	Alves <i>et al.</i> , 2020.
Celulose bacteriana/clorexidina/ β -ciclodextrina.	<i>Komagataeibacter hansenii</i>	Membrana bioativa e bioabsorvível para tratamento de doenças periodontais.	Inoue <i>et al.</i> , 2020.
Celulose bacteriana	-	Modificador de textura e estabilizante em alimentos (bebidas e tofu).	Lin <i>et al.</i> , 2020.
Celulose bacteriana carregada com taurina.	<i>Gluconacetobacter xylinus</i> ATCC 700178	Máscara facial com propriedades hidratantes e antioxidantes.	Bilgi <i>et al.</i> , 2021.
Celulose bacteriana/subprodutos de acerola	Kombucha (SCOBY)	Bebida fermentada.	Leonarski <i>et al.</i> , 2021.
Celulose bacteriana/quitosana/nanopartículas carregadas com sulfadiazina de prata.	-	Curativo biocompatível e antibacteriano.	Stanescu <i>et al.</i> , 2021.
Celulose bacteriana/poli(vinil álcool)/	<i>Gluconacetobacter hansenii</i> UCP1619	Embalagem alimentícia antioxidante.	De Lima <i>et al.</i> , 2024.

Composição da matriz polimérica	Microrganismo utilizado	Aplicação	Referência
complexo alimentar antioxidante.			
Celulose bacteriana/ soro de soja tofu.	Kombucha (SCOBY)	Bebida fermentada.	Feng <i>et al.</i> , 2024.
Celulose bacteriana/ Kappa-carragena/ Extrato de casca de cajueiro.	<i>Gluconacetobacter hansenii</i> ATCC-23769	Embalagem alimentícia antioxidante e antimicrobiana.	De Lima <i>et al.</i> , 2025.
Celulose bacteriana/ compostos polifenólicos extraídos de maçãs descartadas.	Kombucha SCOBY (KEFIRA)	Máscara facial.	Baldassini <i>et al.</i> , 2025.
*-Não mencionado			

Fonte: Autoria própria.

Conforme apresentado na Tabela 1, a celulose bacteriana é geralmente produzida por bactérias do gênero *Komagataeibacter* (anteriormente classificadas como *Gluconacetobacter*) e, devido às suas características de elevada capacidade de absorção e biocompatibilidade, pode ser incorporada a outros polímeros, nanopartículas ou extratos, visando à potencialização de suas propriedades de acordo com a finalidade de aplicação da membrana. Nesse contexto, destacam-se aplicações nas áreas biomédica (curativos biocompatíveis e antibacterianos, engenharia de tecidos e membranas bioabsorvíveis para tratamento periodontal), ambiental (membranas filtrantes para remediação de água), tecnológica (biossensores e dispositivos ópticos), têxtil e cosmética (máscaras faciais), bem como no setor alimentício, onde pode atuar como modificador de textura e estabilizante em alimentos e bebidas, matriz estrutural em sistemas fermentados e componente de embalagens alimentícias antioxidantes e antimicrobianas

3. SUBSTRATOS CONVENCIONAIS X SUBSTRATOS ALTERNATIVOS

A produção de celulose bacteriana em escala industrial ainda enfrenta desafios, principalmente devido à baixa produtividade fermentativa e aos elevados custos de produção (García-Sánchez *et al.*, 2020). Em fermentações microbianas, o custo dos substratos convencionais normalmente representa até 50–65% do custo total do processo (Vazquez *et al.*, 2013). O meio de cultura utilizado para a produção de CB deve fornecer fontes adequadas de carbono, nitrogênio, bem como macro e micronutrientes essenciais ao crescimento

microbiano. Nesse contexto, o meio convencional mais amplamente empregado é o meio de Hestrin e Schramm (HS), o qual é composto por peptona, extrato de levedura, ácido cítrico, fosfato dissódico de hidrogênio e glicose como fonte de carbono (García-Sánchez *et al.*, 2020). Diversas modificações na composição do meio HS têm sido propostas, como o uso de mono e dissacarídeos como frutose, sacarose, maltose, celobiose, xilose, galactose e alditóis, que têm sido utilizados com sucesso como fontes de carbono (Pacheco *et al.*, 2017).

Os substratos alternativos de baixo custo representam uma estratégia para produção de celulose bacteriana a partir de matérias-primas renováveis e resíduos agroindustriais, que atuam como fontes de carbono, nitrogênio e nutrientes para o crescimento microbiano. Entre esses substratos destacam-se sucos de frutas, como abacaxi e coco, e extratos vegetais, a exemplo do chá preto e do chá verde, amplamente utilizados devido ao seu teor de açúcares e compostos bioativos. Além disso, subprodutos açucarados, como melaços de beterraba e de cana-de-açúcar, bem como xaropes industriais, têm sido explorados por apresentarem elevada disponibilidade de carboidratos fermentescíveis (Velásquez-Riaño; Bojacá, 2017). Resíduos provenientes de processos fermentativos e agroindustriais também representam alternativas promissoras, incluindo águas residuais e lodos de fermentação, como vinhaça, vinhaça fina, lodo de Makgeolli, levedura residual de cervejaria, glicerol oriundo da produção de biodiesel e efluentes de fermentações lipídicas. Adicionalmente, hidrolisados de biomassa vegetal obtidos a partir de materiais lignocelulósicos e amiláceos — como sabugo de milho, capim-elefante, abeto, palha de trigo, lodos residuais de fibras, madeira tratada por extração com água quente, resíduos têxteis à base de algodão, polpa de batata-doce e amido de milho — têm demonstrado potencial significativo para a produção de celulose bacteriana, contribuindo para a redução de custos do processo e para a valorização de resíduos no contexto da economia circular (Pacheco *et al.*, 2017; Velásquez-Riaño; Bojacá, 2017; García-Sánchez *et al.*, 2020). Na Tabela 2 são mencionados diferentes estudos em que substratos alternativos são utilizados para produção da celulose bacteriana.

Tabela 2 - Substratos alternativos utilizados para produção da celulose bacteriana.

Substrato alternativo	Suplementação	Microrganismo utilizado	Composição de açúcares	Rendimento de produção da CB (g/L)	Referência
Suco de cana-de-açúcar.	Não	<i>Gluconacetobacter swingsii</i> sp.	0,008% (p/v) de glicose, 0,066% (p/v) de frutose, 8,57% (p/v) de sacarose.	Não mencionado.	Castro <i>et al.</i> , 2011.
Suco de casca de abacaxi.			2,14% (p/v) de glicose, 2,4% (p/v) de frutose, 2,10% (p/v) de sacarose.	2,80	
Suco de laranja.	Não	<i>Komagataeibacter sucrofermentans</i> DSM 15973.	Sacarose (19,2g/L), glicose (39g/L) e frutose (35,5g/L).	6,10	Andritsou <i>et al.</i> , 2018.
Suco de Toranja.			Sacarose (15,7g/L), glicose (37,9g/L) e frutose (34,6g/L).	6,70	
Extrato aquoso de cascas de laranja.			Sacarose (2,7g/L), glicose (8g/L) e frutose (7,2g/L).	2,90	
Extrato aquoso de cascas de toranja.			Sacarose (1,4g/L), glicose (7,2g/L) e frutose (7,1g/L).	5,00	
Extrato aquoso de cascas de limão.			Sacarose (0,2g/L), glicose (2,3g/L) e frutose (2,1g/L).	5,20	
Resíduo da polpa de manga.	Não	<i>Komagataeibacter xylinus</i> DSMZ 2004	Concentração de açúcar total 50g/L.	0,73	García-Sánchez <i>et al.</i> , 2020.
	Extrato de levedura			5,94	
	Extrato de levedura + Peptona			5,94	
	Peptona			1,30	
	Uréia			3,00	
	Sulfato de amônio		1,50		
Suco de folhas de palmeiras.	HS*	<i>Acetobacter xylinum</i> 0416.	Glicose (20g/L)	2,88	Azmi <i>et al.</i> , 2021.
Extrato da casca de abacaxi.	HS*	<i>Acetobacter xylinum</i> ATCC2376.	Sacarose (19,9g/L), glicose (15g/L) e frutose (7,75g/L).	Sem produção.	Lee <i>et al.</i> , 2022.
		<i>Bacillus cereus</i> MMS1.		2,00	

Substrato alternativo	Suplementação	Microrganismo utilizado	Composição de açúcares	Rendimento de produção da CB (g/L)	Referência
Hidrolisado de lodo de resíduos de papel.	Não	<i>Acetobacter xylinum</i> .	0,81 açúcares redutores gerados/g de lodo de resíduos de papel.	12,00	Ngo <i>et al.</i> , 2023.
Extrato de resíduos de maçã.	Não	<i>Komagataeibacter xylinus</i> DSM 2004	Sacarose (<1,5g/L), glicose (11,1g/L) e frutose (26,2g/L).	0,94	Esmail <i>et al.</i> , 2025.
	HS*			3,38	
Hidrolisado de pão.	Não		Glicose (75,92g/L).	0,40	
	HS*			2,40	

* Componentes do meio HS (Hestrin e Schramm), exceto a fonte de carbono (especificamente peptona, extrato de levedura, ácido cítrico e fosfato dissódico de hidrogênio).

Fonte: Autoria Própria

De acordo com a Tabela 2, os substratos alternativos podem ser empregados na produção de celulose bacteriana de duas formas principais: (i) como substituto da fonte de carbono em meio suplementado, utilizando o meio padrão HS ou diferentes fontes de nitrogênio, como peptona, peptona associada ao extrato de levedura, ureia, entre outras; ou (ii) como meio único de cultivo. Os substratos utilizados de forma isolada demonstraram produção promissora, com bons rendimentos de celulose bacteriana. Contudo, torna-se fundamental avaliar os microrganismos empregados no processo, uma vez que a combinação entre a cepa produtora e o substrato alternativo pode influenciar significativamente a eficiência da produção de celulose.

4. IMPACTO DOS SUBSTRATOS ALTERNATIVOS AO RENDIMENTOS E PROPRIEDADES DA CB

A escolha do substrato de cultivo exerce papel determinante não apenas sobre o rendimento da celulose bacteriana, mas também sobre as características estruturais e funcionais do material sintetizado. Substratos alternativos provenientes de resíduos agroindustriais apresentam composição química intrinsecamente heterogênea, contendo diferentes perfis de açúcares fermentescíveis, ácidos orgânicos, minerais e compostos fenólicos, os quais influenciam diretamente o metabolismo das bactérias produtoras (Quijano *et al.*, 2024).

Essa variabilidade composicional pode modificar a taxa de polimerização da glicose, a organização das microfibrilas e o grau de cristalinidade da celulose formada, refletindo em

alterações nas propriedades físico-químicas e mecânicas do biopolímero. Estudos têm demonstrado que a presença desses componentes adicionais pode atuar tanto como estimulante metabólico quanto como modulador estrutural da matriz celulósica, resultando em membranas com morfologia, porosidade e desempenho mecânico distintos daqueles obtidos em meios sintéticos convencionais, como o meio de HS (Qiu; Netravale, 2014; Rincón *et al.*, 2025).

Diversas pesquisas demonstram que substratos alternativos, como melaço de cana-de-açúcar, soro de leite, águas residuais de frutas, cascas de frutas e resíduos ricos em açúcares fermentescíveis, alguns citados na Tabela 2, podem promover rendimentos de CB comparáveis ou superiores aos obtidos com meios convencionais. Além do aumento do rendimento, esses substratos frequentemente fornecem micronutrientes, vitaminas e compostos nitrogenados que favorecem o metabolismo bacteriano, estimulando a biossíntese da celulose (García-Sánchez *et al.*, 2020). Contudo, a variabilidade composicional desses resíduos pode resultar em flutuações no desempenho produtivo, exigindo padronização ou pré-tratamentos do substrato para garantir reprodutibilidade.

Em 2017 Lima e colaboradores demonstraram que o uso de suco de sisal, um resíduo abundante da agroindústria, como meio de cultivo para *Komagataeibacter hansenii* resultou em rendimentos de CB significativamente superior aos obtidos em meio sintético de HS, evidenciando que a presença de açúcares naturais e micronutrientes no substrato favorece o metabolismo bacteriano e a biossíntese do biopolímero. Avançando nessa abordagem, Tseng *et al.* (2022) utilizaram extratos de frutas tropicais como fontes alternativas de carbono, obtendo incrementos expressivos no rendimento da CB quando comparados ao meio convencional, o que foi atribuído à elevada assimilabilidade dos açúcares presentes nesses substratos naturais.

Mais recentemente, pesquisas passaram a investigar não apenas o rendimento, mas também os efeitos dos substratos alternativos sobre as propriedades estruturais e físico-químicas da CB. Akintunde *et al.* (2022) avaliaram resíduos agrícolas como sabugo de milho e bagaço de cana-de-açúcar e observaram, além de rendimentos superiores ao meio HS, a formação de membranas com microfibrilas mais densamente organizadas e boa estabilidade térmica. De forma semelhante, Heydorn *et al.* (2023) demonstraram que subprodutos da indústria alimentícia, como melaço e vinhaça, influenciam diretamente a morfologia e a cristalinidade da celulose bacteriana produzida por *Komagataeibacter xylinus*, indicando que

a composição mineral e orgânica desses resíduos pode atuar como moduladora da organização da rede nanofibrilar, resultando em materiais com propriedades distintas daquelas obtidas em meios sintéticos tradicionais.

De modo geral, os estudos recentes evidenciam que a seleção de substratos alternativos para a produção de celulose bacteriana deve considerar não apenas o custo e a disponibilidade da matéria-prima, mas sobretudo sua composição química e a compatibilidade metabólica com a cepa bacteriana empregada, uma vez que a interação entre microrganismo, substrato e condições de cultivo influencia simultaneamente o rendimento do processo e as propriedades estruturais e funcionais do biopolímero obtido (Catarino *et al.*, 2025).

Nesse contexto, o uso de substratos alternativos configura-se como uma estratégia promissora para a produção sustentável de celulose bacteriana, desde que seja acompanhado por avaliações criteriosas de produtividade, caracterização do material e desempenho em aplicações finais, sendo fundamental a integração entre estudos de otimização de bioprocessos e análises estruturais para consolidar o potencial da celulose bacteriana no âmbito da bioeconomia e da economia circular (Esa *et al.*, 2014; García-Sánchez *et al.*, 2020).

5. DESAFIOS, LIMITAÇÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

Os principais desafios e limitações associados à produção de celulose bacteriana em substratos alternativos estão relacionados, sobretudo, à padronização do processo, uma vez que a variabilidade composicional dos resíduos utilizados pode impactar diretamente o rendimento e a reprodutibilidade da produção, exigindo controle rigoroso de parâmetros considerados ideais, como temperatura, oxigênio dissolvido e pH. Adicionalmente, a definição de um sistema de produção adequado representa um entrave relevante para a aplicação em escala industrial, visto que diferentes configurações de biorreatores — como sistemas de placas, discos rotativos, tanques agitados com filtros rotatórios, sistemas de biofilme, colunas de bolhas esféricas e leitos percoladores — podem influenciar significativamente a produtividade e as propriedades finais do material. Soma-se a isso a necessidade de estabelecer um processo de cultivo otimizado, considerando o uso de cultivos estáticos ou submersos, bem como os modos operacionais em batelada, batelada alimentada ou batelada alimentada intermitente, os quais devem ser criteriosamente avaliados de acordo com o tipo

de substrato alternativo empregado e a aplicação final desejada (Velásquez-Riaño; Bojacá, 2017; Andritsou *et al.*, 2018).

Com base nos estudos discutidos ao longo deste capítulo, infere-se que, apesar dos desafios e limitações existentes, a produção de celulose bacteriana em larga escala pode ser viabilizada por meio do uso de substratos alternativos como estratégia para a redução dos custos do processo. Há evidências científicas consistentes que demonstram o caráter promissor dessa abordagem para aplicações em escala industrial.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando o crescente interesse industrial pela celulose bacteriana, em função de suas propriedades de biodegradabilidade, biocompatibilidade, elevada pureza e não toxicidade, esse biopolímero tem se consolidado como um material de alto valor agregado em diferentes cadeias produtivas. Conforme discutido ao longo deste capítulo, a celulose bacteriana apresenta amplo potencial de aplicação nos setores biomédico, cosmético, ambiental e alimentício. No contexto específico da indústria de alimentos e bebidas fermentadas, destaca-se sua relevância tanto como produto derivado de processos fermentativos quanto como ingrediente funcional capaz de atuar como matriz estrutural comestível, modificador de textura, estabilizante e componente de embalagens ativas.

Nesse cenário, a produção de celulose bacteriana a partir de substratos alternativos desponta como estratégia inovadora e sustentável, especialmente quando integrada à valorização de coprodutos agroindustriais oriundos de cadeias fermentativas. Essa abordagem não apenas contribui para a redução de custos e viabilização da produção em larga escala, mas também fortalece o desenvolvimento de novas formulações e sistemas tecnológicos aplicáveis à indústria de alimentos e bebidas fermentadas, alinhados aos princípios da economia circular e da bioinovação.

AGRADECIMENTOS

O apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (Facepe).

REFERÊNCIAS

- AKINTUNDE, M. O.; ADEBAYO-TAYO, B. C.; ISHOLA, M. M.; ZAMANI, A.; SÁRVÁRI HORVÁTH, I. Bacterial cellulose production from agricultural residues by two *Komagataeibacter* sp. strains. *Bioengineered*, v. 13, n. 4, p. 10010–10025, 2022. <https://doi.org/10.1080/21655979.2022.2062970>
- ALVES, A. A.; SILVA, W. E.; BELIAN, M. F.; LINS, L. S. G.; GALEMBECK, A. Bacterial cellulose membranes for environmental water remediation and industrial wastewater treatment. *International Journal of Environmental Science and Technology*, v. 17, n. 9, p. 3997–4008, 2020. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02746-5>
- AMANDA, P.; MARDAWATI, E.; SHIDQI, H. L.; SRIKANDACE, Y.; ZAHRAD, S. A.; ENDAH, E. S.; ANDRIANI, D.; MAHARDIKA, M.; KARINA, M. Enhanced bacterial cellulose production from black soy sauce residue by *Komagataeibacter xylinus*: a sustainable bioconversion approach. *Biomass Conversion and Biorefinery*, p. 1–14, 2025. <https://doi.org/10.1007/s13399-025-06824-x>
- ANDRITSOU, V.; DE MELO, E. M.; TSOUKO, E.; LADAKIS, D.; MARAGKOUDAKI, S.; KOUTINAS, A. A.; MATHARU, A. S. Synthesis and characterization of bacterial cellulose from citrus-based sustainable resources. *ACS Omega*, v. 3, n. 8, p. 10365–10373, 2018. <https://doi.org/10.1021/acsomega.8b01315>
- AZMI, S. N. N. S.; FABLI, S. N. N. F. M.; ARIS, F. A. F.; SAMSU, Z. A.; ASNAWI, A. S. F. M.; YUSOF, Y. M.; ARIFFIN, H.; ABDULLAH, S. S. S. Fresh oil palm frond juice as a novel and alternative fermentation medium for bacterial cellulose production. *Materials Today: Proceedings*, v. 42, p. 101–106, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.220>
- BALDASSINI, R.; CORRADO, B.; LAGRECA, E.; VECCHIONE, R.; SARDO, A.; NAVIGLIO, D.; NETTI, P. A. Shredded bacterial cellulose as a potential carrier of polyphenols derived from apple waste applying rapid solid–liquid dynamic extraction. *ACS Omega*, v. 10, n. 14, p. 14010–14019, 2025. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c10689>
- BILGI, E.; HOMAN GOKCE, E.; BAYIR, E.; SENDEMIR, A.; OZER, K. O.; HAMES TUNA, E. E. Bacterial cellulose-based facial mask with antioxidant property and high moisturizing capacity. *Cellulose*, v. 28, n. 16, p. 10399–10414, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-04106-z>
- CAI, Z.; KIM, J. Preparation and characterization of novel bacterial cellulose/gelatin scaffold for tissue regeneration using bacterial cellulose hydrogel. *Journal of Nanotechnology in Engineering and Medicine*, v. 1, n. 2, 2010. <https://doi.org/10.1115/1.4000858>
- CASTRO, C.; ZULUAGA, R.; PUTAUX, J. L.; CARO, G.; MONDRAGON, I.; GAÑÁN, P. Structural characterization of bacterial cellulose produced by *Gluconacetobacter swingsii* sp. from Colombian agroindustrial wastes. *Carbohydrate Polymers*, v. 84, n. 1, p. 96–102, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.10.072>
- CATARINO, R. P. F.; MASCARELI, V. A. B.; COSTA, V. L. L.; PAVANELLO, A. C. L.; SPINOSA, W. A. Sustainability and influencing factors in bacterial cellulose production: a review of the

- impact of microorganisms, culture media and cultivation methods. *Food Technology and Biotechnology*, 2025. <https://doi.org/10.17113/ftb.63.03.25.8746>
- DE LIMA, A. C. A.; BRITO, A. M. S. S.; CAETANO, V. F.; VINHAS, G. M. Incorporation of cashew bark extract and gamma irradiation effects on biodegradable bacterial cellulose/k-carrageenan film. *Express Polymer Letters*, v. 19, n. 6, 2025. [10.3144/expresspolymlett.2025.46](https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2025.46)
- DE LIMA, A. C. A.; CAETANO, V. F.; VINHAS, G. M. Development of active biodegradable films based on bacterial cellulose/poly(vinyl alcohol) and antioxidant food complex for application in food packaging. *Polymer Bulletin*, v. 81, n. 16, p. 14605–14624, 2024. <https://doi.org/10.1007/s00289-024-05397-5>
- ESA, F.; TASIRIN, S. M.; ABD RAHMAN, N. Overview of bacterial cellulose production and application. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, v. 2, p. 113–119, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2014.11.017>
- ESMAIL, A.; MORAIS, M.; YILMAZER, U. D.; NEVES, L. A.; FREITAS, F. Bacterial cellulose production through the valorization of waste apple pulp and stale bread. *Biomass Conversion and Biorefinery*, v. 15, n. 9, p. 14587–14602, 2025. <https://doi.org/10.1007/s13399-024-06281-y>
- FENG, X.; GE, Z.; WANG, Y.; XIA, X.; ZHAO, B.; DONG, M. Production and characterization of bacterial cellulose from kombucha-fermented soy whey. *Food Production, Processing and Nutrition*, v. 6, n. 1, 2024. <https://doi.org/10.1186/s43014-023-00188-3>
- FERNANDES, M.; GAMA, M.; DOURADO, F.; SOUTO, A. P. Development of novel bacterial cellulose composites for the textile and shoe industry. *Microbial Biotechnology*, v. 12, n. 4, p. 650–661, 2019. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13387>
- GARCÍA-SÁNCHEZ, M. E.; ROBLEDO-ORTIZ, J. R.; JIMÉNEZ-PALOMAR, I.; GONZÁLEZ-REYNOSO, O.; GONZÁLEZ-GARCÍA, Y. Production of bacterial cellulose by *Komagataeibacter xylinus* using mango waste as alternative culture medium. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, v. 19, n. 2, p. 851–865, 2020.
- GUTIERREZ, J.; FERNANDES, S. C.; MONDRAGON, I.; TERCJAK, A. Conductive photoswitchable vanadium oxide nanopaper based on bacterial cellulose. *ChemSusChem*, v. 5, n. 12, p. 2323–2327, 2012. <https://doi.org/10.1002/cssc.201200516>
- GÜZEL, M. Valorisation of bread wastes via the bacterial cellulose production. *Biomass Conversion and Biorefinery*, v. 15, n. 3, p. 4777–4790, 2025. <https://doi.org/10.1007/s13399-024-05662-7>
- HEYDORN, R. L.; LAMMERS, D.; GOTTSCHLING, M.; DOHNT, K. Effect of food industry by-products on bacterial cellulose production and its structural properties. *Cellulose*, v. 30, p. 4159–4179, 2023. <https://doi.org/10.1007/s10570-023-05097-9>
- INOUE, B. S.; STREIT, S.; SANTOS SCHNEIDER, A. L.; MEIER, M. M. Bioactive bacterial cellulose membrane with prolonged release of chlorhexidine for dental medical application.

- International Journal of Biological Macromolecules*, v. 148, p. 1098–1108, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.036>
- LEE, A. C.; SALLEH, M. M.; IBRAHIM, M. F.; BAHRIN, E. K.; JENOL, M. A.; ABD-AZIZ, S. Pineapple peel as alternative substrate for bacterial nanocellulose production. *Biomass Conversion and Biorefinery*, v. 14, n. 4, p. 5541–5549, 2024. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03169-7>
- LEONARSKI, E.; CESCO, K.; ZANELLA, E.; STAMBUK, B.U.; DE OLIVEIRA, D.; POLETTO, P. Production of kombucha-like beverage and bacterial cellulose by acerola byproduct as raw material. *Lwt*, v. 135, p. 110075, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110075>
- LIMA, H. L. S.; NASCIMENTO, E. S.; ANDRADE, F. K.; BRÍGIDA, A. I. S.; BORGES, M. F.; CASSALES, A. R.; MUNIZ, C. R.; SOUZA FILHO, M. S. M.; MORAIS, J. P. S.; ROSA, M. F. Bacterial cellulose production by *Komagataeibacter hansenii* ATCC 23769 using sisal juice – an agroindustry waste. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, v. 34, n. 3, p. 671–680, 2017. <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20170343s20150514>
- LIN, D.; LIU, Z.; SHEN, R.; CHEN, S.; YANG, X. Bacterial cellulose in food industry: Current research and future prospects. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 158, p. 1007–1019, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.230>
- MARTINEZ, J. C.; DAVILA, L.; ZULUAGA, R.; RICARDO, A.; FIGUEROA, J.; ALMEIDA OLIVEIRA, M. G.; MERIÑO-CABRERA, Y. Production of bacterial cellulose from banana waste (*Musa paradisiaca*): a sustainable material for making cardboard paper. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v. 63, p. 103484, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2024.103484>
- NGO, T. T. N.; PHAN, T. H.; LE, T. M. T.; LE, T. N. T.; HUYNH, Q.; PHAN, T. P. T.; HOANG, M.; VO, T. P.; NGUYEN, D. Q. Producing bacterial cellulose from industrial recycling paper waste sludge. *Heliyon*, v. 9, n. 7, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17663>
- PACHECO, G.; NOGUEIRA, C. R.; MENEGUIN, A. B.; TROVATTI, E.; SILVA, M. C.; MACHADO, R. T.; RIBEIRO, S. J. L.; SILVA FILHO, E. C.; BARUD, H. D. S. Development and characterization of bacterial cellulose produced by cashew tree residues as alternative carbon source. *Industrial Crops and Products*, v. 107, p. 13–19, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.05.026>
- PANDEY, A.; SINGH, M. K.; SINGH, A. A sustainable strategy for enhancing bacterial cellulose production using cotton industry fly waste. *Polymer Bulletin*, p. 1–29, 2025. <https://doi.org/10.1007/s00289-025-05745-z>
- QIU, K.; NETRAVALI, A. N. A review of fabrication and applications of bacterial cellulose-based nanocomposites. *Polymer Reviews*, v. 54, n. 4, p. 598–626, 2014. <https://doi.org/10.1080/15583724.2014.896018>
- QUIJANO, L.; RODRIGUES, R.; FISCHER, D.; TOVAR-CASTRO, J. D.; PAYNE, A.; NAVONE, L.; HUI, Y.; YAN, H.; PINMANEE, P.; POON, E.; YANG, J.; BARRO, E. Bacterial cellulose cookbook:

- a systematic review on sustainable and cost-effective substrates. *Journal of Open Biology and Applied Biosciences*, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2024.05.003>
- RINCÓN, A.; RESTREPO, G. M.; HOYOS, F. E. Review of bacterial cellulose production using agricultural and agroindustrial wastes: physical and mechanical properties. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, v. 18, n. 5, 2025. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20251805.9466>
- SABATINI, F.; MARESCA, E.; AULITTO, M.; TERMOPOLI, V.; DE RISI, A.; CORREGGIA, M.; FIORENTINO, G.; CONSONNI, V.; GOSETTI, F.; ORLANDI, M.; LANGE, H.; CONTURSI, P. Exploiting agri-food residues for kombucha tea and bacterial cellulose production. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 302, p. 140293, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.140293>
- STANESCU, P. O.; RADU, I. C.; LEU ALEXA, R.; HUDITA, A.; TANASA, E.; GHITMAN, J.; STOIAN, O.; TSATSAKIS, A.; GINGHINA, O.; ZAHARIA, C.; SHTILMAN, M.; MEZHUEV, Y.; GALATEANU, B. Novel chitosan and bacterial cellulose biocomposites tailored with polymeric nanoparticles for modern wound dressing development. *Drug Delivery*, v. 28, n. 1, p. 1932–1950, 2021. <https://doi.org/10.1080/10717544.2021.1977423>
- TSENG, Y. S.; PATEL, A. K.; CHEN, C.-W.; DONG, C.-D.; SINGHANIA, R. R. Improved production of bacterial cellulose by *Komagataeibacter europaeus* employing fruit extract as carbon source. *Journal of Food Science and Technology*, v. 60, n. 3, p. 1054–1064, 2023. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05451-y>
- VAZQUEZ, A.; FORESTI, M. L.; CERRUTTI, P.; GALVAGNO, M. Bacterial cellulose from simple and low cost production media by *Gluconacetobacter xylinus*. *Journal of Polymers and the Environment*, v. 21, n. 2, p. 545–554, 2013. <https://doi.org/10.1007/s10924-012-0541-3>
- VELÁSQUEZ-RIAÑO, M.; BOJACÁ, V. Production of bacterial cellulose from alternative low-cost substrates. *Cellulose*, v. 24, n. 7, p. 2677–2698, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10570-017-1309-7>

CAPÍTULO IV

BEBIDAS FERMENTADAS DE MATRIZ VEGETAL NA ERA DA BIOINOVAÇÃO: MICRORGANISMOS DE PRÓXIMA GERAÇÃO E ESTRATÉGIAS DE MICROENCAPSULAÇÃO

PLANT-BASED FERMENTED BEVERAGES IN THE ERA OF BIOINNOVATION: NEXT-GENERATION MICROORGANISMS AND MICROENCAPSULATION STRATEGIES

DOI: 10.51859/ampla.iab6164-4

Michelle Maria Barreto de Souza¹

Walter de Paula Pinto Neto²

Neide Kazue Sakugawa Shinohara³

Thayza Christina Montenegro Stamford⁴

¹ Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal da Paraíba - UFPB

² Doutor em Ciências Biológicas. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

³ Professora do Departamento de Tecnologia Rural. Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE

⁴ Professora do Departamento de Medicina Tropical. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

RESUMO

O desenvolvimento de bebidas fermentadas de matriz vegetal tem ganhado destaque na era da bioinovação, impulsionado pela busca por alimentos funcionais, sustentáveis e livres de alérgenos lácteos. Sucos de frutas se destacam como matrizes promissoras devido ao seu conteúdo de compostos bioativos e alta aceitabilidade. A incorporação de probióticos tem sido explorada, especialmente por seus efeitos na modulação da microbiota intestinal. Além dos probióticos tradicionais, avanços em genômica permitiram a identificação de microrganismos de próxima geração, com funções mais específicas e potencial terapêutico ampliado. No entanto, a viabilidade desses microrganismos ainda é um desafio frente às condições de processamento, armazenamento e digestão. Nesse contexto, a microencapsulação surge como uma estratégia eficaz para proteger os probióticos, aumentando sua estabilidade e sobrevivência. Entre os métodos, o *spray drying* se destaca pela viabilidade industrial e eficiência. Assim, a integração de microrganismos de nova geração e técnicas de microencapsulação representa uma abordagem promissora para o desenvolvimento de bebidas vegetais inovadoras e funcionais.

Palavras-chave: Bebidas funcionais. Viabilidade microbiana. Tecnologias de proteção celular.

ABSTRACT

The development of plant-based fermented beverages has gained significant attention in the era of bioinnovation, driven by the demand for functional, sustainable foods free from dairy allergens. Fruit juices stand out as promising matrices due to their high content of bioactive compounds and broad consumer acceptability. The incorporation of probiotics has been widely explored, particularly for their beneficial effects on gut microbiota modulation. In addition to traditional probiotics, advances in genomics have enabled the identification of next-generation microorganisms with more specific functions and enhanced therapeutic potential. However, maintaining the viability of these microorganisms remains a challenge under processing, storage, and gastrointestinal conditions. In this context, microencapsulation emerges as an effective strategy to protect probiotics, improving their stability and survival. Among the available techniques, spray drying is particularly notable for its industrial feasibility and efficiency. Therefore, the integration of next-generation microorganisms with advanced microencapsulation techniques represents a promising approach for the development of innovative and functional plant-based beverages.

Keywords: Functional beverages. Microbial viability. Cell protection technologies.



1. INTRODUÇÃO

Na era da bioinovação, observa-se um crescente interesse pelo desenvolvimento de bebidas fermentadas de matriz vegetal, impulsionado pela demanda por alimentos funcionais, sustentáveis e livres de componentes de origem animal. Nesse contexto, sucos de frutas destacam-se como excelentes matrizes alimentares, devido ao seu elevado teor de compostos bioativos, como vitaminas, antioxidantes e polifenóis, associados a diversos benefícios à saúde humana. Além disso, essas matrizes não contêm alérgenos lácteos e apresentam alta aceitabilidade entre diferentes faixas etárias, o que as torna promissoras para o desenvolvimento de novos produtos funcionais. Assim, o enriquecimento de bebidas vegetais com probióticos tem sido amplamente investigado devido aos efeitos que esses componentes podem promover (Lascano *et al.*, 2020).

As bebidas probióticas têm sido associadas a uma ampla gama de benefícios à saúde, especialmente no que se refere à modulação da microbiota intestinal (Britton *et al.*, 2021). Diferentes cepas probióticas desempenham funções específicas, sendo seus efeitos dependentes da espécie e da cepa utilizada. Entre os principais microrganismos tradicionalmente empregados destacam-se bactérias dos gêneros *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Bacillus*, *Pediococcus*, além de diversas leveduras (Soemarie *et al.*, 2021). Evidências científicas demonstram que esses microrganismos podem contribuir na prevenção e no tratamento de diversas condições, incluindo distúrbios gastrointestinais, doenças metabólicas, alergias, alterações imunológicas e até mesmo algumas formas de câncer (Maftei *et al.*, 2024).

Dentre as cepas amplamente estudadas, destacam-se *Lactocaseibacillus casei*, *Lactocaseibacillus rhamnosus* e *Lactiplantibacillus plantarum*, reconhecidas por sua atuação na modulação da microbiota intestinal, redução do colesterol, fortalecimento da barreira intestinal e alívio de doenças inflamatórias intestinais (Guo *et al.*, 2022; Tang *et al.*, 2022; Andrade *et al.*, 2023).

Entretanto, avanços recentes nas áreas de microbiologia, genômica e bioinformática têm impulsionado a identificação de novos microrganismos com potencial terapêutico, denominados probióticos de próxima geração. Esses microrganismos diferenciam-se dos probióticos tradicionais por serem selecionados com base em técnicas avançadas, como o sequenciamento de nova geração, além de apresentarem mecanismos de ação mais

específicos, maior diversidade taxonômica e potencial aplicação como bioterapêuticos direcionados (Zhang *et al.*, 2022). Esses probióticos têm demonstrado potencial na modulação de vias inflamatórias, redução do estresse oxidativo e prevenção de doenças metabólicas, neurodegenerativas e infecciosas (Danilenko *et al.*, 2021).

Entre os principais representantes desse grupo destacam-se *Akkermansia muciniphila*, *Faecalibacterium prausnitzii*, *Christensenella minuta*, *Bacteroides spp.* e *Prevotella copri*, os quais vêm sendo investigados por seu papel na prevenção e no controle de doenças como obesidade, diabetes, doenças hepáticas e inflamatórias intestinais (Zhai *et al.*, 2019).

Apesar do grande potencial funcional, a viabilidade dos microrganismos probióticos ainda representa um desafio significativo. Durante o processamento industrial, armazenamento e trânsito pelo trato gastrointestinal, ocorre uma redução expressiva no número de células viáveis, comprometendo sua eficácia. Para que os efeitos benéficos sejam alcançados, é essencial que uma quantidade adequada de microrganismos vivos atinja o intestino e seja capaz de colonizar o ambiente intestinal (Ducarmon *et al.*, 2019). Nesse sentido, estratégias como a combinação de diferentes cepas e o uso de tecnologias de proteção celular têm sido exploradas para aumentar a sobrevivência e a funcionalidade desses microrganismos (Fei *et al.*, 2023).

Dentre essas estratégias, a microencapsulação destaca-se como uma das abordagens mais promissoras, sendo amplamente utilizada para proteger células probióticas contra condições adversas, como variações de temperatura, oxigênio, umidade e pH. Além de aumentar a estabilidade durante o processamento e armazenamento, a microencapsulação também favorece a liberação controlada dos microrganismos no trato gastrointestinal (Rajam; Subramanian, 2022; Apiwattanasiri *et al.*, 2022; Maní-López *et al.*, 2023).

Diferentes métodos de microencapsulação vêm sendo aplicados, com destaque para o *spray drying*, devido à sua viabilidade econômica, facilidade de aplicação em escala industrial e capacidade de controle das propriedades das partículas formadas (Baldelli *et al.*, 2024). Nesse processo, agentes encapsulantes como a maltodextrina são amplamente utilizados em função de sua alta solubilidade, baixo custo e baixa higroscopicidade, contribuindo para a estabilidade do produto final (Türk-Gül *et al.*, 2023).

Estudos recentes têm demonstrado a eficácia da microencapsulação, especialmente por *spray drying*, na manutenção da viabilidade de probióticos em bebidas à base de frutas, reforçando o potencial dessas matrizes como veículos funcionais (Lascano *et al.*, 2020; Souza

et al., 2020; Vivek *et al.*, 2020; Souza *et al.*, 2021). No entanto, a aplicação de probióticos de próxima geração ainda é limitada por desafios relacionados à segurança, estabilidade e validação tecnológica, sendo necessário que estudos futuros explorem de forma mais aprofundada o uso dessas cepas em diferentes matrizes alimentares.

Diante desse cenário de avanços científicos e crescente interesse industrial, este capítulo tem como objetivo discutir os principais avanços relacionados ao desenvolvimento de bebidas fermentadas de matriz vegetal, com ênfase no potencial de aplicação de microrganismos de próxima geração e na estratégia de microencapsulação, destacando seus impactos na estabilidade, funcionalidade e inovação de alimentos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. BEBIDAS FERMENTADAS VEGETAIS COMO MATRIZES FUNCIONAIS EMERGENTES

As frutas têm se tornado importantes matrizes alimentares para o desenvolvimento de bebidas fermentadas e probióticas, devido ao seu sabor agradável e à crescente popularidade de produtos saudáveis e refrescantes (Meenu *et al.*, 2024).

As bebidas probióticas à base de frutas têm ganhado destaque por apresentarem elevada disponibilidade de nutrientes e açúcares naturais, o que favorece o crescimento e a sobrevivência dos microrganismos probióticos. Além disso, sua composição rica em fitoquímicos contribui para efeitos benéficos à saúde do consumidor (Behera; Panda, 2020).

Segundo De Bellis *et al.* (2021), o processo de fermentação desses alimentos não apenas agrega valor nutricional e funcional, como também contribui para a extensão da vida de prateleira dos produtos, além de ampliar o consumo por indivíduos com restrições alimentares, como intolerância à lactose e alergia à proteína do leite.

As bebidas de origem vegetal também são amplamente preferidas por consumidores veganos, vegetarianos, pessoas com alergia à proteína do leite ou intolerância à lactose, além daqueles que buscam alternativas alimentares mais saudáveis. Esses produtos se destacam por apresentarem alto teor de proteínas e fibras, além de baixos níveis de gordura saturada, sódio e açúcar (Craig *et al.*, 2021).

Embora existam diversos estudos que investigam a adição de probióticos tradicionais em matrizes vegetais (Guedes *et al.*, 2019; Barajas-Álvarez *et al.*, 2021; Souza *et al.*, 2021; Neuenfeldt *et al.*, 2022; Vivek *et al.*, 2023), ainda são escassas as pesquisas que utilizam

probióticos de próxima geração nesses sistemas alimentares. Essa lacuna evidencia um campo emergente e altamente promissor para a comunidade científica, uma vez que a aplicação desses microrganismos em bebidas fermentadas vegetais pode ampliar significativamente o potencial funcional e terapêutico desses produtos, representando uma importante área de investigação para pesquisadores da área de alimentos e biotecnologia.

2.2. PROBIÓTICOS DE PRÓXIMA GERAÇÃO: EVOLUÇÃO CONCEITUAL E POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO

Os probióticos são parte integrante da suplementação humana. São definidos como “microorganismos vivos” que devem ser absolutamente seguros para o hospedeiro, sobreviver às condições do trato digestivo e ter um efeito positivo na sua saúde em quantidades adequadas (Guarner *et al.*, 2024).

Os probióticos evoluíram de formas tradicionais, presentes em alimentos fermentados como kefir, kimchi e iogurte, para versões mais avançadas denominadas probióticos de próxima geração. Enquanto os probióticos tradicionais são compostos principalmente por gêneros como *Lactobacillus* e *Bifidobacterium* e possuem benefícios gerais à saúde intestinal, os probióticos de próxima geração representam microrganismos recentemente identificados ou selecionados com base em tecnologias modernas de microbiologia e biotecnologia, apresentando ações mais específicas e direcionadas a doenças, incluindo distúrbios intestinais, imunológicos e até neurológicos (Castellon *et al.*, 2021; Liang *et al.*, 2024).

Esses microrganismos são frequentemente associados ao conceito de medicina de precisão, pois podem atuar de forma mais direcionada em condições patológicas específicas. Diferentemente dos probióticos convencionais, os probióticos de próxima geração ainda exigem maior validação de segurança e são frequentemente classificados como produtos bioterapêuticos vivos, submetidos a regulamentações mais rigorosas e ensaios clínicos detalhados (Manoharan; Balasubramanian, 2022; Abouelela; Helmy, 2024).

Entre os principais representantes dos probióticos de próxima geração destacam-se *Akkermansia muciniphila*, *Faecalibacterium prausnitzii* e *Clostridium butyricum*, os quais estão associados à modulação da resposta imune, redução da inflamação e melhora da integridade da barreira intestinal (Cani *et al.*, 2022; Khomeiri *et al.*, 2023). Esses microrganismos podem ser organizados em categorias como bioterapêuticos vivos, probióticos engenheirados e microbiotas sintéticas, ampliando suas aplicações em intervenções terapêuticas e na restauração da microbiota intestinal (Singh; Natraj, 2021).

Em síntese, os probióticos de próxima geração representam uma evolução significativa em relação aos tradicionais, oferecendo maior especificidade funcional e potencial de aplicação em estratégias de saúde personalizada e medicina preventiva (Suez *et al.*, 2020; Liang *et al.*, 2024). Além disso, devido ao seu potencial funcional e às suas propriedades benéficas à saúde intestinal, esses microrganismos podem ser explorados em diferentes sistemas alimentares, incluindo o desenvolvimento de bebidas fermentadas funcionais, desde que sejam garantidas condições adequadas de viabilidade e estabilidade durante o processamento e armazenamento.

Com base nesse avanço conceitual e biotecnológico dos microrganismos benéficos, torna-se essencial discutir as estratégias que permitem sua aplicação eficiente em sistemas alimentares, especialmente no que se refere à manutenção da viabilidade e estabilidade celular ao longo do processamento e do armazenamento.

2.3. MICROENCAPSULAÇÃO COMO ESTRATÉGIA PARA MELHORIA DA VIABILIDADE E ESTABILIDADE MICROBIANA

A microencapsulação é uma estratégia tecnológica essencial para aumentar a viabilidade e a estabilidade de microrganismos probióticos em alimentos funcionais. Essa técnica consiste no aprisionamento de células ou compostos bioativos em microcápsulas, formando uma barreira protetora contra fatores adversos como pH, oxigênio, temperatura e condições de processamento e armazenamento (Razavi *et al.*, 2021).

Além de preservar a integridade dos microrganismos durante o processamento industrial e a passagem pelo trato gastrointestinal, a microencapsulação favorece sua liberação controlada no intestino, garantindo maior eficácia funcional. Métodos como *spray drying* são amplamente utilizados devido à sua viabilidade industrial e capacidade de gerar partículas estáveis e homogêneas (Kalita *et al.*, 2018; Rajam; Anandharamakrishnan, 2015).

A escolha dos materiais encapsulantes é determinante para o desempenho da técnica, sendo frequentemente utilizados compostos como maltodextrina, amido, proteínas e oligossacarídeos (Azam *et al.*, 2020; Tantratian; Pradeamchai, 2020).

Estudos demonstram que a combinação de diferentes agentes encapsulantes, como frutooligossacarídeos, alginato e galactooligossacarídeos, pode aumentar significativamente a viabilidade de cepas probióticas em condições simuladas e em matrizes alimentares. Esses

resultados reforçam a importância da formulação e do controle das condições de processamento para otimizar o desempenho dos sistemas encapsulados (Azam *et al.*, 2020).

Assim, a microencapsulação se destaca como uma ferramenta promissora para o desenvolvimento de alimentos funcionais, contribuindo para a proteção, estabilidade e maior eficácia de microrganismos benéficos em aplicações alimentícias e potencialmente farmacêuticas.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O avanço das pesquisas em bebidas fermentadas de matriz vegetal evidencia o potencial dessas matrizes como plataformas promissoras para o desenvolvimento de alimentos funcionais na era da bioinovação. A associação entre compostos bioativos naturalmente presentes, como vitaminas, polifenóis e antioxidantes, e a incorporação de microrganismos probióticos amplia significativamente o valor nutricional e funcional desses produtos, especialmente no contexto da modulação da microbiota intestinal.

O surgimento dos probióticos de próxima geração representa um importante marco científico, ampliando as possibilidades de aplicação terapêutica e funcional em alimentos, com maior especificidade de ação e potencial biotecnológico. No entanto, a viabilidade desses microrganismos ainda constitui um dos principais desafios tecnológicos, especialmente durante o processamento, armazenamento e passagem pelo trato gastrointestinal.

Nesse cenário, a microencapsulação se destaca como uma estratégia eficaz para aumentar a estabilidade, proteção e sobrevivência dos microrganismos, permitindo sua liberação controlada e funcional no organismo. Entre as diferentes abordagens, os métodos de microencapsulação, como o *spray drying*, apresentam elevada aplicabilidade industrial, reforçando sua relevância para o desenvolvimento de produtos em larga escala.

Dessa forma, a integração entre matrizes vegetais, microrganismos de nova geração e tecnologias avançadas de microencapsulação representa uma abordagem inovadora e promissora para o futuro das bebidas fermentadas funcionais. Contudo, ainda são necessários estudos adicionais que aprofundem a compreensão das interações entre cepas, matrizes e técnicas de encapsulação, visando otimizar a eficácia e a aplicação desses sistemas na indústria de alimentos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às instituições de ensino e pesquisa pelo suporte acadêmico e pela disponibilização de recursos que possibilitaram a construção deste estudo.

REFERÊNCIAS

- ABOUELLA, M. E.; HELMY, Y. A. Next-generation probiotics as novel therapeutics for improving human health: current trends and future perspectives. *Microorganisms*, v. 12, n. 3, p. 430, 2024.
- ANDRADE, D. P. et al. Microencapsulation of presumptive probiotic bacteria *Lactiplantibacillus plantarum* CCMA 0359: technology and potential application in cream cheese. *International Dairy Journal*, v. 143, p. 105669, 2023.
- APIWATTANASIRI, P. et al. Co-encapsulation efficiency of silk sericin-alginate-prebiotics and the effectiveness of silk sericin coating layer on the survival of probiotic *Lactobacillus casei*. *Food Bioscience*, v. 46, p. 101576, 2022.
- AZAM, M. et al. A prebiotic-based biopolymeric encapsulation system for improved survival of *Lactobacillus rhamnosus*. *Food Bioscience*, v. 37, p. 100679, 2020.
- BALDELLI, A. et al. Spray dried powder of common fruit juices: enhancement of main properties. *Powder Technology*, v. 441, p. 119560, 2024.
- BARAJAS-ÁLVAREZ, P.; GONZÁLEZ-ÁVILA, M.; ESPINOSA-ANDREWS, H. Microencapsulation of *Lactobacillus rhamnosus* HN001 by spray drying and its evaluation under gastrointestinal and storage conditions. *LWT – Food Science and Technology*, v. 153, p. 112485, 2022.
- BEHERA, S. S.; PANDA, S. K. Ethnic and industrial probiotic foods and beverages: efficacy and acceptance. *Current Opinion in Food Science*, v. 32, 2020.
- BRITTON, R. A. et al. Probiotics and the microbiome-how can we help patients make sense of probiotics? *Gastroenterology*, v. 160, p. 614–623, 2021.
- CANI, P. D. et al. *Akkermansia muciniphila*: paradigm for next-generation beneficial microorganisms. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, v. 19, n. 10, p. 625–637, 2022.
- CASTELLONE, V. et al. Eating fermented: health benefits of LAB-fermented foods. *Foods*, v. 10, n. 11, p. 2639, 2021.
- CRAIG, W. J.; BROTHERS, C. J.; MANGELS, R. Nutritional content and health profile of single-serve non-dairy plant-based beverages. *Nutrients*, v. 14, p. 162–170, 2021.
- DANILENKO, V. et al. Common inflammatory mechanisms in COVID-19 and Parkinson's diseases: the role of microbiome, pharmabiotics and postbiotics. *Journal of Inflammation Research*, v. 14, p. 6349, 2021.

- DE BELLIS, P.; SISTO, A.; LAVERMICOCCA, P. Probiotic bacteria and plant-based matrices: an association with improved health-promoting features. *Journal of Functional Foods*, v. 87, 2021.
- DUCARMON, Q. R. et al. Microbiota and colonization resistance against bacterial enteric infection. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, v. 83, 2019.
- FEI, Y. Z. et al. Role of prebiotics in enhancing the function of next-generation probiotics in gut microbiota. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 63, p. 1037–1054, 2023.
- GUARNER, F. et al. World gastroenterology organisation global guidelines: probiotics and prebiotics. *Journal of Clinical Gastroenterology*, v. 58, p. 533–553, 2024.
- GUEDES, J. S. da et al. Protective effects of β -glucan extracted from spent brewer yeast during freeze-drying, storage and exposure to simulated gastrointestinal conditions of probiotic lactobacilli. *LWT – Food Science and Technology*, v. 116, p. 108496, 2019.
- GUO, X. et al. Effects of apple juice fermented with *Lactobacillus plantarum* CICC21809 on antibiotic-associated diarrhea of mice. *Journal of Functional Foods*, v. 99, p. 105334, 2022.
- KALITA, D. et al. Characteristics of synbiotic spray dried powder of litchi juice with *Lactobacillus plantarum* and different carrier materials. *LWT – Food Science and Technology*, v. 87, p. 351–360, 2018.
- KHOMEIRI, M.; TAHERI, S.; NASROLLAHZADEH, A. Non-LAB bacterial probiotic: next-generation probiotic, *Bacillus spp.*, *Clostridium butyricum*. In: Handbook of Food Bioactive Ingredients: Properties and Applications. Cham: Springer, 2023.
- LASCANO, R. A. et al. Physico-chemical properties, probiotic stability and sensory characteristics of *Lactobacillus plantarum* S20-supplemented passion fruit juice powder. *Food Research*, v. 4, p. 320–326, 2020.
- LIANG, D. et al. Commercial probiotic products in public health: current status and potential limitations. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 64, n. 19, p. 6455–6476, 2024.
- MAFTEI, N.-M. et al. The potential impact of probiotics on human health: an update on their health-promoting properties. *Microorganisms*, v. 12, p. 234, 2024.
- MANI-LÓPEZ, E. et al. Advances in probiotic incorporation into cereal-based baked foods: strategies, viability, and effects—a review. *Applied Food Research*, v. 3, 2023.
- MANOHARAN, M.; BALASUBRAMANIAN, T. S. An extensive review on production, purification, and bioactive application of different classes of bacteriocin. *Journal of Tropical Biodiversity and Biotechnology*, v. 7, n. 3, 2022.
- MEENU, M. et al. The golden era of fruit juices-based probiotic beverages: recent advancements and future possibilities. *Process Biochemistry*, v. 142, 2024.
- NEUENFELDT, N. H. et al. Efeitos da co-microencapsulação de extrato de mirtilo na sobrevivência de *Lactobacillus rhamnosus*. *LWT*, 2022.

- RAJAM, R. P.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Microencapsulation of probiotics: past, present and future. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, v. 4, p. 26–40, 2015.
- RAJAM, R. P.; SUBRAMANIAN, P. Encapsulation of probiotics: past, present and future. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Science*, v. 11, p. 1–18, 2022.
- RAZAVI, S. et al. Nanomaterial-based encapsulation for controlled gastrointestinal delivery of viable probiotic bacteria. *Nanoscale Advances*, v. 3, n. 10, p. 2699–2709, 2021.
- SINGH, T. P.; NATRAJ, B. H. Next-generation probiotics: a promising approach towards designing personalized medicine. *Critical Reviews in Microbiology*, v. 47, n. 4, p. 479–498, 2021.
- SOEMARIE, Y. B. et al. Fermented foods as probiotics: a review. *Journal of Advanced Pharmaceutical Technology & Research*, v. 12, p. 335–339, 2021.
- SOUZA, M. et al. Microencapsulation by spray drying of a functional product with mixed juice of acerola and ciriguela fruits containing three probiotic lactobacilli. *Drying Technology*, v. 40, p. 1185–1195, 2020.
- SOUZA, M. et al. New functional non-dairy mixed tropical fruit juice microencapsulated by spray drying: physicochemical characterization, bioaccessibility, genetic identification and stability. *LWT – Food Science and Technology*, v. 152, p. 112271, 2021.
- SUEZ, J.; ZMORA, N.; ELINAV, E. Probiotics in the next-generation sequencing era. *Gut Microbes*, v. 11, n. 1, p. 77–93, 2020.
- TANTRATIAN, S.; PRADEAMCHAI, M. Select a protective agent for encapsulation of *Lactobacillus plantarum*. *LWT – Food Science and Technology*, v. 123, p. 109075, 2020.
- TANG, C. et al. Yogurt-derived *Lactobacillus plantarum* Q16 alleviated high-fat diet-induced non-alcoholic fatty liver disease in mice. *Food Science and Human Wellness*, v. 11, p. 1428–1439, 2022.
- TÜRK-GÜL, A. et al. Spray drying in food encapsulation: properties and applications. *Food Engineering Reviews*, 2023.
- VIVEK, K. et al. Characterization of spray dried probiotic Sohiong fruit powder with *Lactobacillus plantarum*. *LWT – Food Science and Technology*, v. 117, p. e108699, 2020.
- ZHAI, Q. S. et al. A next generation probiotic, *Akkermansia muciniphila*. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 59, p. 3227–3236, 2019.
- ZHANG, H. et al. Next-generation probiotics: microflora intervention to human diseases. *BioMed Research International*, 2022.

CAPÍTULO V

FERMENTAÇÃO DE BEBIDA PLANT-BASED À BASE DE LICURI: POTENCIAL PROBIÓTICO, ESTABILIDADE E INOVAÇÃO SUSTENTÁVEL EM PRODUTOS NÃO LÁCTEOS

FERMENTATION OF PLANT-BASED DRINKS MADE FROM LICURI: PROBIOTIC POTENTIAL, STABILITY, AND SUSTAINABLE INNOVATION IN NON-DAIRY PRODUCTS

DOI: 10.51859/amplla.iab6164-5

Natália Martins dos Santos do Vale¹
Jenyffer Medeiros Campos Guerra²
Márcia Vanusa da Silva³

¹ Doutoranda em Engenharia Química. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química – UFPE.

² Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Química – UFPE.

³ Professora Adjunta do Departamento de Bioquímica – UFPE.

RESUMO

O aumento das preocupações com saúde, sustentabilidade e bem-estar animal tem impulsionado o consumo de alimentos à base de plantas, especialmente bebidas vegetais, que se destacam como alternativas aos laticínios. Essas bebidas são obtidas a partir de sementes, cereais, leguminosas e nozes, sendo adequadas para dietas restritivas, como veganas e para indivíduos com intolerâncias ou alergias. A fermentação com microrganismos probióticos, sobretudo do gênero *Lactobacillus*, tem sido utilizada para aprimorar características nutricionais, sensoriais e funcionais desses produtos. Nesse contexto, o licuri (*Syagrus coronata*), apresenta potencial como matéria-prima para bebidas fermentadas devido à sua composição nutricional. Este estudo teve como objetivo desenvolver duas bebidas fermentadas de licuri enriquecidas, respectivamente, com *Lactobacillus casei* e *Lactobacillus paracasei*, bem como avaliar a estabilidade, o crescimento e a viabilidade dessas cepas, por meio de realização de análises de estabilidade visual, pH e contagem microbiana em ambas as bebidas. Os resultados demonstraram maior estabilidade e melhor viscosidade das bebidas na presença de probióticos e estabilizantes, sem separação de fases, principalmente a amostra contendo *L. casei*. Observou-se também para ambas as bebidas, a redução do pH ao longo de 49 dias, associada ao crescimento microbiano, que foi exponencial até o 35º dia, seguido de declínio após

o 42º dia, sem comprometer os níveis mínimos exigidos pela legislação (10^7 UFC/mL). Com isso, conclui-se que a bebida vegetal de licuri apresenta um meio eficiente para o crescimento de cepas do gênero *Lactobacillus* mantendo a viabilidade e estabilidade até o fim dos 49 dias de armazenamento.

Palavras-chave: Vegano. Bactérias ácido lácticas. Alimentos inovadores.

ABSTRACT

Growing concerns about health, sustainability, and animal welfare have driven the consumption of plant-based foods, especially plant-based beverages, which stand out as alternatives to dairy products. These beverages are made from seeds, grains, legumes, and nuts, making them suitable for restrictive diets, such as vegan diets, and for individuals with intolerances or allergies. Fermentation with probiotic microorganisms, particularly those of the genus *Lactobacillus*, has been used to enhance the nutritional, sensory, and functional characteristics of these products. In this context, licuri (*Syagrus coronata*) shows potential as a raw material for fermented beverages due to its nutritional composition. The objective of this study was to develop two fermented licuri beverages enriched with *Lactobacillus casei* and *Lactobacillus paracasei*, respectively, as well as to evaluate the stability, growth, and viability of these strains by



conducting visual stability, pH, and microbial count analyses in both beverages. The results demonstrated greater stability and improved viscosity of the beverages in the presence of probiotics and stabilizers, with no phase separation, particularly in the sample containing *L. casei*. A decrease in pH was also observed in both beverages over 49 days, associated with microbial growth, which was exponential until the 35th day, followed by a decline after the 42nd day, without

compromising the minimum levels required by law (10^7 CFU/mL). Thus, it is concluded that the licuri plant-based beverage provides an efficient medium for the growth of *Lactobacillus* strains, maintaining viability and stability until the end of the 49-day storage period.

Keywords: Vegan. Lactic acid bacteria. Innovative foods.

1. INTRODUÇÃO

O aumento do consumo de alimentos à base de plantas está relacionado às preocupações da população com o estilo de vida mais saudável, impacto ambiental e o bem-estar animal dos sistemas alimentares atuais (Duluins e Baret, 2024). Esses produtos são considerados alternativas mais sustentáveis quando comparadas aos de origem de animal. Os novos hábitos impulsionaram uma transição do mercado no desenvolvimento e comercialização de alternativas de carne e bebidas à base de plantas, visando satisfazer as demandas dos consumidores (Ahmad et al., 2022; Torrijos et al., 2026).

Produtos derivados do leite apresentam elevado valor nutricional, versatilidade e praticidade no consumo. Esses contêm um teor relevante de proteínas e micronutrientes importantes, como o cálcio, o qual colabora com o crescimento e desenvolvimento dos ossos e dentes dos seres humanos (Lee, Leong e Oey, 2024; Shitahun, Endaye e Kassa, 2025). Entretanto, apesar de seus benefícios nutricionais, os consumidores aumentaram a busca por alimentos análogos de leite de origem animal devido às preocupações dos potenciais riscos à saúde cardiovascular pela presença de alto teor de gordura, bem como com a intolerância à lactose (Aydar, Tutuncu e Ozcelik, 2020; Messina *et al.*, 2024).

Portanto, há uma mudança gradual do consumo do leite de origem animal para bebidas à base de plantas, as quais podem ser provenientes de fontes vegetais como leguminosas, nozes e cereais, e consequentes são isentas de lactose e colesterol (Brooker *et al.*, 2023). Além disso, são fontes de micronutrientes, fibras alimentares, ácidos graxos essenciais e antioxidantes, o que torna estes produtos análogos saudáveis, pois promovem benefícios relacionados à saúde intestinal e apresentam propriedades antimicrobianas (Brooker et al., 2023; Rincon et al., 2020; Torrijos et al., 2026).

As bebidas funcionais, como as fermentadas, são, pois apresentam benefícios por suas características biológicas e nutricionais, podendo ser à base de laticínios, frutas e vegetais,

leguminosas, cereais ou nozes. As características funcionais atendem necessidades diferentes em relação ao estilo de vida saudável, como aumentar a energia, combater o envelhecimento, a fadiga e o estresse, ou tratar doenças (Agarbaty *et al.*, 2024). Diante disso, diferentes fontes vegetais foram estudadas como possíveis aplicações na produção de bebidas à base de vegetais, dentre elas: amêndoa, arroz, aveia, coco, semente de girassol, entre outros. Por serem matérias-primas diferentes, a composição nutricional e atributos sensoriais como cor, textura e sabor, também podem apresentar diferenças (Tangyu *et al.*, 2019).

Dentre as plantas possíveis de se utilizar como base para extração de “leite” têm-se o licuri (*Syagrus coronata* (Martius) Beccari, família *Arecaceae*), uma palmeira nativa da Caatinga. Esta contém diferentes partes que são realizados processamento, como o óleo, o fruto, as folhas e a casca (Brasil, 2006). Sendo o caroço de seu fruto importante para extração de óleo e “leite”, seus principais subprodutos. A composição nutricional do licuri contém 49% de lipídios, 11% de proteínas, 10% de carboidratos e 1,2% de fibras (Carvalho Alves, de *et al.*, 2024). Diante disso, este fruto pode ser considerado um ótimo substrato para bebidas fermentadas, pois promove diferentes nutrientes no processo da fermentação, além dos benefícios adicionais à saúde e de apresentar sabor característico capaz de enriquecer os atributos sensoriais (Cibele *et al.*, 2016).

Devido a demanda por alimentos funcionais e mais saudáveis, adicionar probióticos como os *Lactobacillus*, nas bebidas fermentadas torna-se uma excelente opção (Szutowska, 2020). A utilização desses probióticos em alimentos não lácteos promovem um alto valor nutricional, e a presença de minerais, vitaminas e fibras, auxiliam na viabilidade destes microrganismos que devem ser mantidos durante o processamento e armazenamento até o momento do consumo afim de sobreviverem com atividade viável até o final da digestão para que os efeitos benéficos sejam eficientes (Valero-Cases *et al.*, 2020).

Diante do exposto, faz-se necessário a partir deste trabalho, elaborar uma bebida fermentada “tipo shake” inoculada de *Lactobacillus casei* e *Lactobacillus paracasei*, a fim de compreender da viabilidade da atividade microbiana probiótica e a estabilidade ao longo do tempo de vida no armazenamento refrigerado.

2. METODOLOGIA

O experimento foi realizado conforme com as seguintes etapas: extração vegetal a partir do licuri, formulação da bebida vegetal, inoculação dos probióticos, análise física e visual

de estabilidade, análise de pH e avaliação do crescimento microbiano ao longo do armazenamento.

2.1. OBTENÇÃO DO LICURI

As amostras de licuri (Figura 1) foram fornecidas pela Cooperativa de Produção da Região do Piemonte da Diamantina (COOPES), localizada em Capim Grosso, Bahia, Brasil (11° 22' 54" Sul, 40° 0' 46" Oeste).

Figura 1 – Amêndoa do licuri

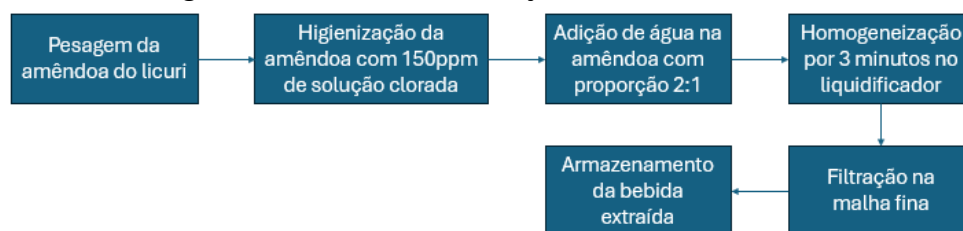


Fonte: Autor, 2026.

2.2. EXTRAÇÃO DO EXTRATO DE LICURI

O processo de obtenção do extrato vegetal a partir do Licuri se dá conforme a Figura 2.

Figura 2 – Processo de extração do extrato de Licuri



Fonte: Autor, 2026.

2.3. OBTENÇÃO E ATIVAÇÃO DOS INÓCULOS BACTERIANOS

As cepas das culturas iniciadoras e dos probióticos *Lactobacillus casei* e *paracasei* utilizadas foram adquiridas da empresa brasileira COANA PROBIOTICAL, cepas probióticas liofilizadas de *L. casei* (LC03) e *L. paracasei* (LPC00) na concentração de 10^{11} UFC/mL.

As culturas microbianas foram descongeladas pelo processo “overnight” em geladeira à temperatura entre 8°C e 4°C. Em seguida cada cepa foi pesada e inoculada em caldo de Man, Rogosa e Sharpe (MRS), separadamente, a fim de pré-ativá-las. Estas foram incubadas em estufa B.O.D. a $36 \pm 1^\circ\text{C}$ por 24h. Após a pré-ativação dos *Lactobacillus*, o caldo MRS de cada cepa foi transferido para um tubo Falcon para a centrifugação. O sobrenadante foi descartado e o precipitado adicionado à bebida extraída do licuri.

2.4. FORMULAÇÃO E PROCESSAMENTO DAS BEBIDAS

Nesta etapa, inicialmente foi incorporada a lecitina de soja como emulsificante para auxiliar na estabilidade do produto a fim de evitar separação de fases nas bebidas, visto que o licuri é fonte rica de lipídeos. Adicionou-se em seguida a goma xantana e lecitina de soja, como espessante e emulsificante, respectivamente, em apensar duas amostras, com o intuito de tornar as bebidas mais viscosas e estáveis semelhantes aos *shakes* lácteos no mercado e comparar essas características com as amostras sem esses aditivos. Por fim, incorporou-se a sacarose como fonte de açúcar para os *Lactobacillus* utilizarem no crescimento. Somente após homogeneização e pasteurização foram adicionados os *Lactobacillus casei* e *Lactobacillus paracasei*. A formulação das bebidas e suas quantidades estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Formulação das bebidas fermentadas à base de licuri

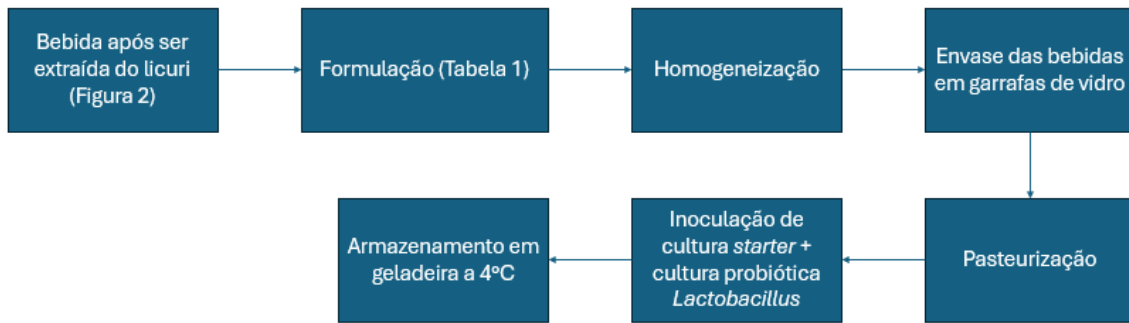
Ingredientes	Percentual (%)	A1 (g)	A2 (g)	B1 (g)	B2 (g)
Bebida da extração do licuri	94,59	945,90	945,90	945,90	945,90
Sacarose	5,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Lecitina de soja	0,30	3,00	3,00	0,00	0,00
Goma xantana	0,04	0,40	0,40	0,00	0,00
Cultura starter	0,01	0,10	0,10	0,10	0,10
<i>L. casei</i>	0,03	0,30	0,00	0,30	0,00
<i>L. paracasei</i>	0,03	0,00	0,30	0,00	0,30

Legenda: (A1) Bebida fermentada com *L. casei* com aditivos químicos; (A2) Bebida fermentada com *L. paracasei* com aditivos químicos; (B1) Bebida fermentada com *L. casei* sem aditivos químicos; (B2) Bebida fermentada com *L. paracasei* sem aditivos químicos.

Fonte: Autor, 2026.

As bebidas fermentadas à base de plantas foram produzidas a partir da amêndoa do licuri e inoculadas de culturas iniciadoras e as probióticas *L. casei* e *L. paracasei*, as quais foram utilizadas para a fermentação. O fluxograma de produção e fermentação das bebidas foram seguidos conforme a Figura 3.

Figura 3 – Etapas de processamento da bebida à base de licuri



Fonte: Autor, 2026.

2.5. CONTAGEM DAS BACTÉRIAS ÁCIDO-LÁCTICAS (LACTOBACILLUS)

O controle do crescimento dos probióticos *Lactobacillus* foram realizados a partir da contagem total em placas das bactérias ácido lácticas (BAL) viáveis por meio da técnica de plaqueamento em profundidade (*Pour plate*) e sobrecamada em meio ágar MRS. Após a solidificação do meio, as placas serão incubadas na estufa à $36^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ por 72 horas. Para analisar o crescimento do probiótico, a contagem das bactérias ácido-lácticas foi realizada em um intervalo de 7 dias, num período total de 49 dias.

2.6. ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DE PH

A determinação do pH foi realizada em triplicata pelo equipamento pHmetro mPA210 da MS TECNOPON. As análises de pH foram aferidas a cada 7 dias durante os 49 dias de armazenamento das bebidas (AOAC, 2023).

2.7. ANÁLISE DE ESTABILIDADE VISUAL

Amostras A1 e A2, com adição de lecitina de soja e goma xantana, e as amostras B1 e B2, sem a adição desses aditivos, inoculadas de *L. casei* e *L. paracasei*, foram desenvolvidas e avaliadas visualmente a cada 7 dias comparando a estabilidade baseada na divisão de fases das bebidas, bem como viscosidade mais ou menos espessas delas, pelo período total de 49 dias de armazenamento em geladeira entre 4 e 8°C.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. PRODUÇÃO DA BEBIDA À BASE DE LICURI FERMENTADA

Durante a produção das bebidas à base de licuri fermentadas, foram acompanhadas as contagens iniciais dos *Lactobacillus casei* e *Lactobacillus paracasei*, bem como o pH das amostras.

A análise inicial do pH foi realizada antes e após 48 horas da inoculação dos probióticos. De forma semelhante, a contagem inicial dos *Lactobacillus* ocorreu após 48 horas da produção da bebida e inoculação dessas bactérias. Sendo introduzidos na formulação número de células viáveis de 10^{11} UFC para o *L. paracasei* e *L. casei*.

Os valores comparativos de pH estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores de pH antes e após 48h de inoculação bacteriana.

Amostras	pH antes	pH após 48h
A1 (<i>L. casei</i>)	$4,58 \pm 0,03^a$	$3,70 \pm 0,03^b$
A2 (<i>L. paracasei</i>)	$4,73 \pm 0,02^a$	$4,60 \pm 0,02^c$

Médias seguidas por letras diferentes da mesma coluna na tabela diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) após análise de variância (ANOVA).

Fonte: Autor, 2026.

No início da produção percebeu-se que os valores de pH entre as formulações apresentaram valores próximos, indicando padronização da metodologia e qualidade das matérias-primas que foram utilizadas nas bebidas fermentadas.

Após a inoculação da cultura *starter* e os *Lactobacillus*, percebe-se um declínio nos valores de pH obtidos nas primeiras 48h de fermentação das bebidas vegetais. Nesta etapa, as culturas desempenham importante função, pois são responsáveis por fermentar a sacarose, utilizada como fonte de carboidrato nas bebidas *plant-based*, liberando ácido lático e conseqüentemente reduzindo o pH, bem como podem produzir metabólitos que auxiliam no desenvolvimento das características tecnológicas, sensoriais e na qualidade microbiologia das bebidas (Inô *et al.*, 2021).

Os valores de pH avaliados nas duas bebidas inoculadas de diferentes probióticos, tiveram quedas significativas, sendo igual ou inferiores a 4,6, limite máximo para produtos alimentícios fermentados, confirmando que ambas as cepas funcionaram como bactérias ácido-láticas eficientes na fermentação em fontes vegetais. Observou-se também que a

queda de pH da bebida contendo *L. casei*, foi maior, representando um crescimento mais rápido no processo fermentativo nas primeiras 48 horas de produção e fermentação. O pH baixo é necessário em produtos alimentares fermentados, pois auxilia na prevenção do crescimento de patógenos e microrganismos deteriorantes (Buatong *et al.*, 2022).

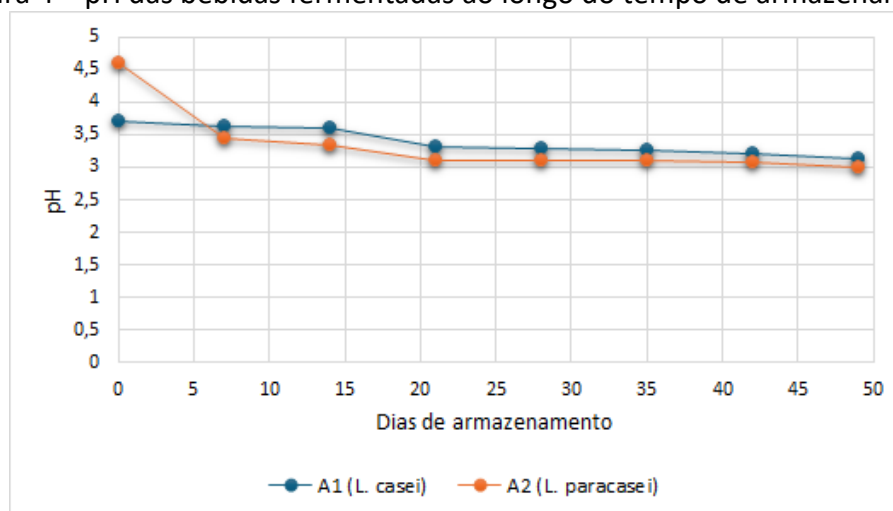
A contagens iniciais de ambos os *Lactobacillus* foram de 10^{11} UFC/mL nas primeiras 48 horas de fermentação das bebidas.

As matrizes alimentares lácteas continuam sendo a principal forma de administração de probióticos, mas pode-se observar que algumas matrizes de bebidas vegetais não lácteas têm obtido sucesso quando utilizadas como veículos para o desenvolvimento de probióticos ou alegações funcionais em humanos.

3.2. ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DE PH

A análise de pH foi realizada ao longo dos 49 dias de armazenamento das bebidas fermentadas em ambiente refrigerado entre 4 e 8°C. Os resultados das análises de pH estão descritos na Figura 4.

Figura 4 – pH das bebidas fermentadas ao longo do tempo de armazenamento



Fonte: Autor, 2026.

Como pode-se observar a partir da Figura 4, ambas as amostras apresentaram uma queda no valor do pH ao longo do tempo de armazenamento, com uma leve estabilidade no pH a partir do dia 35, representando que a disponibilidade da sacarose utilizada para crescimento dos *Lactobacillus* está reduzida; porém não cessada, pois o pH continuou em queda até o dia 56 de estocagem. Isto demonstra coerência devido ao fato que a bebida se acidifica ao longo do tempo por meio da presença do ácido láctico produzido pelos

probióticos, o qual se mostrou mais evidente na amostra A2 contendo *L. paracasei*, principalmente nos primeiros 15 dias de estocagem devido ao elevado consumo da sacarose e maior concentração da cepa bacteriana, com valores de pH praticamente constantes desde o dia 28, representando a fase *lag* da mesma. Por outro lado, a amostra A1 apresentou uma queda de pH por mais tempo, sem valores constantes até o dia 49, representando a fase exponencial do *L. casei*.

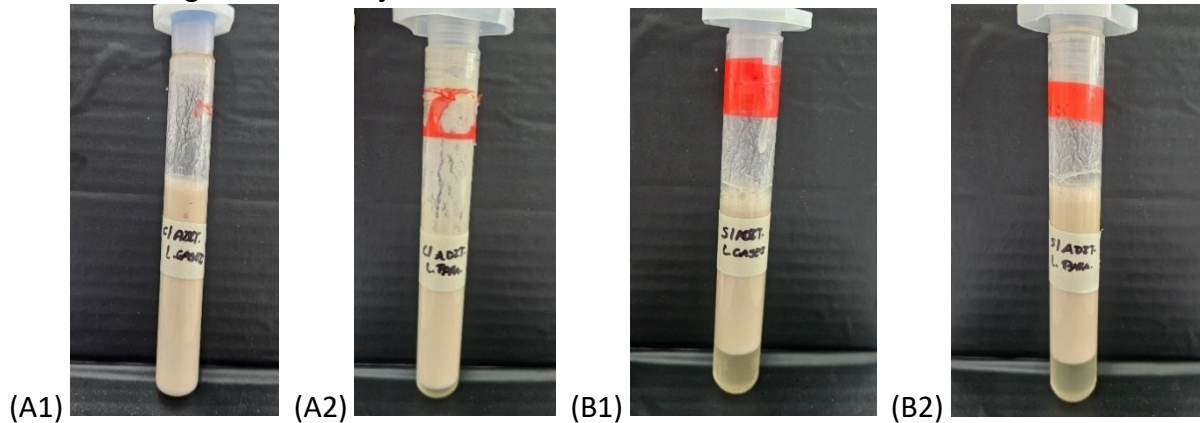
Os resultados se mostraram coerentes com um estudo de bebida fermentada à base de amêndoas inoculada de *Lactobacillus plantarum*, os quais se mantiveram entre 4,0 e 4,5 ao longo do tempo (Buatong *et al.*, 2022). Outro estudo de bebida fermentada à base de frutas obteve um pH entre 3,74 e 3,82, sendo atribuído a maior concentração de *L. helveticus*, valores próximos aos analisados neste trabalho (Zhao *et al.*, 2024). A legislação IN 41/2019 estabelece padrão de pH entre 2,5 e 4,2 para bebidas fermentadas não alcólicas à base de frutas ou vegetais, o que também demonstra compatibilidade com os valores encontrados nas amostras A1 e A2.

3.3. ANÁLISE DE ESTABILIDADE VISUAL

Bebidas fermentadas à base de vegetais podem apresentar teor baixo a moderado de proteína, bem como capacidade emulsificante que pode ou não necessitar de ajuda de aditivos químicos para melhor estabilidade dos produtos. As amostras A1 e A2 contendo *Lactobacillus*, goma xantana e lecitina de soja, foram comparadas com as amostras B1 e B2 contendo apenas *Lactobacillus* sem os aditivos químicos. Todas as bebidas foram armazenadas sob a mesma refrigeração entre 4 e 8°C e avaliada visualmente a cada 7 dias com relação a estabilidade de divisão de fases. A análise visual está representada na Figura 5.

Conforme a Figura 5, observa-se que as amostras referentes a B1 e B2, sem espessantes e emulsificantes, apresentam separação de fases, o que se repetiu ao longo dos dias mesmo quando havia agitação. Entretanto, as amostras representadas por A1 e A2, contendo aditivos químicos, mantiveram-se mais estáveis; já a imagem A1, demonstra a ausência de separação de fases e uma viscosidade mais espessa.

Figura 5 – Avaliação visual de estabilidade das bebidas fermentadas.



Legenda: (A1) Bebida fermentada com *L. casei* com aditivos químicos; (A2) Bebida fermentada com *L. paracasei* com aditivos químicos; (B1) Bebida fermentada com *L. casei* sem aditivos químicos; (B2) Bebida fermentada com *L. paracasei* sem aditivos químicos.

Fonte: Autor, 2026.

Outra avaliação visual importante foi a percepção da viscosidade das bebidas fermentadas. As amostras referentes a B1 e B2 se mostraram mais líquidas devido à ausência de goma xantana. Entretanto entre as amostras demonstradas em A1 e A2, observou-se que a primeira apresentou uma textura mais viscosa e com espumas, o que a torna mais atraente para o consumidor. Isto ocorre devido a maior queda de pH ao longo do tempo, o qual tem a capacidade de coagular de forma irreversível e mais eficiente e a proteína na bebida vegetal, reduzindo ainda mais sua solubilidade e capacidade de formar emulsões. Além disso, a atividade espumante aumenta consideravelmente com a presença elevada de ácido no meio (Zhao *et al.*, 2024).

3.4. CONTAGEM DE BACTÉRIAS ÁCIDO LÁCTICAS

Os resultados estimados obtidos por método de plaqueamento através das análises das bactérias ácido lácticas presentes nas bebidas vegetais fermentadas, estão expressos na tabela 3.

Observou-se a partir da Tabela 3 que as bebidas vegetais fermentadas produzidas, apresentaram contagens de bactérias ácido lácticas viáveis e ativas durante todo o período de 49 dias de armazenamento, pois demonstraram valores entre 10^7 e 10^9 UFC/mL exigidos pela legislação vigente da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (BRASIL, 2008) como quantidade mínima de microrganismos probióticos ativos e viáveis a fim de garantir a alegação de alimento funcional e probiótico.

Tabela 3 – Contagem das bactérias ácido lácticas ao longo do *shelf life* de 49 dias das bebidas vegetais fermentadas.

Dias	Amostra A1 (<i>L. casei</i>) (UFC/mL)	Amostra A2 (<i>L. paracasei</i>) (UFC/mL)
0	INCONTÁVEL	INCONTÁVEL
7	INCONTÁVEL	1,39 x 10 ⁷
14	3,56 x 10 ⁷	6,40 x 10 ⁷
21	9,73 x 10 ⁷	4,79 x 10 ⁸
28	3,11 x 10 ⁹	2,08 x 10 ⁹
35	5,40 x 10 ¹⁰	1,62 x 10 ¹⁰
42	9,21 x 10 ⁹	5,66 x 10 ⁹
49	6,02 x 10 ⁹	6,26 x 10 ⁸

Fonte: Autor, 2026.

A contagem do número das células viáveis de ambos os microrganismos aumentou gradativamente ao longo de cada semana, demonstrando assim, a atividade e desenvolvimento dos *Lactobacillus* ao longo do tempo de 49 dias de armazenamento. Entre os dias 28 e 35, as amostras de bebidas apresentaram contagens crescentes na ordem de 10⁹ e 10¹⁰ UFC/mL, o que representa a fase exponencial, as quais as bactérias já se adaptaram ao ambiente vegetal e estão em desenvolvimento crescente. Entretanto, observou-se uma redução do ciclo logarítmico para ambas as amostras a partir dos 42 dias de estocagem, chegando em sua fase de estabilização e declínio, principalmente a amostra A2 que apresentou uma queda do probiótico maior que a amostra A1 no dia 56.

Estudo relacionado aos efeitos de quatro bactérias lácticas: *Lactobacillus acidophilus*; *Lactobacillus casei*; *L. helveticus* e *Lactobacillus plantarum*, avaliaram seus crescimentos após a inoculação em sucos de jujuba Muzao e Hetian (*Ziziphus jujuba*), frutas típicas da China, e observaram-se uma eficiente adaptação dos microrganismos em meios vegetais a partir do desenvolvimento imediato deles (Li *et al.*, 2021). Outro estudo analisou suco de carambola como alternativa para a produção de vinagre e vinho, os quais apresentaram elevado potencial fermentativo e de transformação em novas bebidas probióticas (Zhao *et al.*, 2024). Esses resultados corroboram com o fato de probióticos do gênero *Lactobacillus* obterem facilidade de crescimento em matérias-primas vegetais, assim como ocorrido neste trabalho.

A viabilidade de *L. rhamnosus* em diferentes misturas de suco de romã fermentado foi investigada e correlacionou-se positivamente com a concentração de suco, a contagem de probióticos no suco de maior concentração apresentou a maior viabilidade probiótica, com 3,89 x 10⁸ UFC/mL, reforçando seu potencial como base para bebidas probióticas (Valero-Cases, Clemente-Villalba e Frutos, 2025). O *L. thermotolerans* foi inoculado em uma bebida

vegetal semelhante a cerveja tipo pilsen e apresentou um crescimento exponencial ao longo de 20 dias com uma média de 7×10^6 UFC/mL (Agarbati *et al.*, 2024). Um estudo com três bebidas formuladas com misturas de farinha de quinoa e grão-de-bico inoculadas com *Lactobacillus acidophilus*, avaliou o efeito da fermentação e obteve um resultado de crescimento entre 10^9 e 10^{10} UFC/mL ao final da fermentação, demonstrando adaptação do microrganismo ao meio vegetal (Hurtado-Murillo, Franco e Contardo, 2025).

Diante disso, avalia-se que as bebidas fermentadas à base de licuri podem ser consideradas probióticas, devido a atividade e viabilidade das cepas dos *Lactobacillus* ao longo do tempo de 49 dias de armazenamento, garantindo os benéficos para o organismo.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados evidenciam que a bebida vegetal à base de licuri constitui um meio adequado para o desenvolvimento e manutenção da viabilidade de cepas probióticas do gênero *Lactobacillus*, destacando-se como uma alternativa promissora no segmento de alimentos funcionais para um público com restrição alimentar. A presença de aditivos estabilizantes, emulsificantes e microrganismos contribuiu significativamente para a viscosidade, estabilidade físico-química e para a qualidade do produto ao longo de 49 dias de armazenamento.

Além disso, a formulação contendo *Lactobacillus casei* apresentou melhor desempenho em termos de viscosidade e estabilidade, indicando seu potencial tecnológico superior na elaboração de bebidas fermentadas. Dessa forma, o estudo reforça a viabilidade do uso do licuri como matéria-prima inovadora, agregando valor a recursos regionais e ampliando as possibilidades no desenvolvimento de produtos *plant-based* com propriedades funcionais.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento à Universidade Federal de Pernambuco e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

AGARBATI, A.; CANONICO, L.; CIANI, M.; MORRESI, C.; DAMIANI, E.; BACCHETTI, T.; COMITINI, F. Functional potential of a new plant-based fermented beverage: Benefits through

- non-conventional probiotic yeasts and antioxidant properties. **International Journal of Food Microbiology**, v. 424, 2 nov. 2024.
- AHMAD, M.; QURESHI, S.; AKBAR, M. H.; SIDDIQUI, S. A.; GANI, A.; MUSHTAQ, M.; HASSAN, I.; DHULL, S. B. Plant-based meat alternatives: Compositional analysis, current development and challenges. **Applied Food Research**. Elsevier B.V., 1 dez. 2022.
- AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL. Oxford University Press, 2023.
- AYDAR, E. F.; TUTUNCU, S.; OZCELIK, B. Plant-based milk substitutes: Bioactive compounds, conventional and novel processes, bioavailability studies, and health effects. **Journal of Functional Foods**. Elsevier Ltd, 1 jul. 2020.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Alimentos com Alegações de Propriedades Funcionais e ou de Saúde, Novos Alimentos/Ingredientes, Substâncias Bioativas e Probióticos. IX - Lista de alegações de propriedade funcional aprovadas. Atualizado em Julho de 2008.
- BROOKER, P. G.; ANASTASIOU, K.; SMITH, B. P. C.; TAN, R.; CLEANTHOUS, X.; RILEY, M. D. Nutrient composition of milk and plant-based milk alternatives: A cross-sectional study of products sold in Australia and Singapore. **Food Research International**, v. 173, 1 nov. 2023.
- BUATONG, A.; MEIDONG, R.; TRONGPANICH, Y.; TONGPIM, S. Production of plant-based fermented beverages possessing functional ingredients antioxidant, γ -aminobutyric acid and antimicrobials using a probiotic *Lactiplantibacillus plantarum* strain L42g as an efficient starter culture. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 134, n. 3, p. 226–232, 1 set. 2022.
- CARVALHO ALVES, J. DE; SOUZA, C. O. DE; MATOS SANTOS, L. DE; VIANA, S. N. A.; JESUS ASSIS, D. DE; TAVARES, P. P. L. G.; REQUIÃO, E. DOS R.; FERRO, J. M. R. B. DOS S.; ROSELINO, M. N. Licuri Kernel (*Syagrus coronata* (Martius) Beccari): A Promising Matrix for the Development of Fermented Plant-Based Kefir Beverages. **Foods**, v. 13, n. 13, 1 jul. 2024.
- CIBELE, M. A. DA S. B.; RODRIGO, S. DO N.; RENATA, C. C. ECIRCA A.; JOS EACUTE, M. A.; ANA, P. S. A. DA S.; ALEXANDRE, G. DA S.; VERA, L. UACUTE CIA DE M. L.; JOSEAN, F. T.; LU IACUTE S, C. AACUTE UDIO N. DA S.; M AACUTE RCIA, V. DA S.; MARIA, T. DOS S. C. *Syagrus coronata* seed oils have antimicrobial action against multidrug-resistant *Staphylococcus aureus*. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 10, n. 23, p. 310–317, 17 jun. 2016.
- DULUINS, O.; BARET, P. V. A systematic review of the definitions, narratives and paths forwards for a protein transition in high-income countries. **Nature Food**, v. 5, n. 1, p. 28–36, 1 jan. 2024.
- HURTADO-MURILLO, J.; FRANCO, W.; CONTARDO, I. Impact of homolactic fermentation using *Lactobacillus acidophilus* on plant-based protein hydrolysis in quinoa and chickpea flour blended beverages. **Food Chemistry**, v. 463, 15 jan. 2025.

- INÔ, M. M. O.; OLIVEIRA, A. M.; ALMEIDA, L. F. S.; LIMA, Í. A. Interference of starter cultures in the chemical and physicochemical parameters during the processing stages of italian type salami. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 2, p. 14153–14170, 2021.
- LEE, P. Y.; LEONG, S. Y.; OEY, I. The role of protein blends in plant-based milk alternative: A review through the consumer lens. **Trends in Food Science and Technology**. Elsevier Ltd, 1 jan. 2024.
- LI, T.; JIANG, T.; LIU, N.; WU, C.; XU, H.; LEI, H. Biotransformation of phenolic profiles and improvement of antioxidant capacities in jujube juice by select lactic acid bacteria. **Food Chemistry**, v. 339, 1 mar. 2021.
- MESSINA, L. *et al.* Occurrence and health risk assessment of mineral composition and aflatoxin M1 in cow milk samples from different areas of Sicily, Italy. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 85, 1 set. 2024.
- RINCON, L.; BRAZ ASSUNÇÃO BOTELHO, R.; ALENCAR, E. R. DE. Development of novel plant-based milk based on chickpea and coconut. **LWT**, v. 128, 1 jun. 2020.
- SHITAHUN, Y.; ENDAYE, M.; KASSA, A. Assessment on level of selected metals and proximate composition of raw cow milk samples from selected sites of Bahir Dar City and it's surrounding. **Food Chemistry Advances**, v. 7, 1 jun. 2025.
- SZUTOWSKA, J. Functional properties of lactic acid bacteria in fermented fruit and vegetable juices: a systematic literature review. **European Food Research and Technology**. Springer, 1 mar. 2020.
- TANGYU, M.; MULLER, J.; BOLTEN, C. J.; WITTMANN, C. Fermentation of plant-based milk alternatives for improved flavour and nutritional value. **Applied Microbiology and Biotechnology**. Springer, 1 dez. 2019.
- TORRIJOS, R.; MIHALACHE, O. A.; PATRIARCA, A.; MEDINA, A.; DALL'ASTA, C. Mycotoxin contamination in plant-based beverages and meat alternatives: A survey of the UK market. **Food Control**, v. 183, 1 maio 2026.
- VALERO-CASES, E.; CERDÁ-BERNAD, D.; PASTOR, J. J.; FRUTOS, M. J. Non-dairy fermented beverages as potential carriers to ensure probiotics, prebiotics, and bioactive compounds arrival to the gut and their health benefits. **Nutrients**. MDPI AG, 1 jun. 2020.
- VALERO-CASES, E.; CLEMENTE-VILLALBA, J.; FRUTOS, M. J. Impact of *Lactobacillus rhamnosus* fermentation and blending strategy on the biochemical and aroma profile of pomegranate juice beverages. **Food Bioscience**, v. 69, 1 jul. 2025.
- ZHAO, J.; ZENG, X.; XI, Y.; LI, J. Recent advances in the applications of *Lactobacillus helveticus* in the fermentation of plant-based beverages: A review. **Trends in Food Science and Technology**. Elsevier Ltd, 1 maio 2024.

CAPÍTULO VI

KEFIR DE LEITE E DE ÁGUA: DIVERSIDADE MICROBIANA, POTENCIAL FUNCIONAL E INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS

MILK AND WATER KEFIR: MICROBIAL DIVERSITY, FUNCTIONAL POTENTIAL AND TECHNOLOGICAL INNOVATIONS

DOI: 10.51859/amplla.iab6164-6

Samantha Santos Richtrmoc¹
Antonio Gomes de Castro Neto²
Maria Juliana Muniz da Silva¹
Walter de Paula Pinto Neto³
José Carlos de Andrade Alves⁴
Neide Kazue Sakugawa Shinohara⁵

¹ Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos – PPGCTA/UFRPE.

² Docente do Departamento de Biofísica. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE.

³ Doutor em Ciências Biológicas. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE.

⁴ Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE.

⁵ Docente do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos – PPGCTA/UFRPE.

RESUMO

O kefir é uma bebida fermentada produzida a partir da fermentação de grãos compostos por bactérias e leveduras. Existem dois tipos de kefir: o kefir de leite (KL), que é produzido a partir da fermentação em matriz láctea, tendo como principal polissacarídeo o *kefiran*, e o kefir de água (KA), que é cultivado em solução açucarada, composta pelo polissacarídeo dextrana. A diversidade dos grãos e seu consórcio microbiano, composto por bactérias ácidos-lácteas (BAL), bactérias ácido-acéticas (BAA) e leveduras é responsável pelas características sensoriais presentes na bebida e pela síntese de metabólitos bioativos, frequentemente associados a benefícios à saúde, como as atividades antioxidante, anti-inflamatória, antimicrobiana e imunomoduladora. As tendências do mercado, principalmente voltadas ao segmento plant-based, influenciaram na incorporação de matrizes não convencionais e no desenvolvimento de novas bebidas fermentadas, como a adição de substratos vegetais, como suco de frutas e extratos vegetais. No âmbito da sustentabilidade, a utilização de subprodutos agroindustriais, como o soro de soja e a cereja do café, são estratégias que, apesar de promissoras, necessitam de maiores estudos quanto à segurança microbiológica e estabilidade dos compostos bioativos. O kefir representa um sistema biotecnológico com potencial funcional, mas ainda apresenta lacunas científicas, como a otimização da fermentação, identificação da microbiota e metabólitos (peptídeos, ácidos e vitaminas).

Palavras-chave: Bebida fermentada. Fermentação. Kefir de leite. Kefir de água.

ABSTRACT

Kefir is a fermented beverage produced by the fermentation of grains composed of bacteria and yeast. There are two types of kefir: milk kefir (MK), which is produced through fermentation in a milk matrix and has kefirin as its main polysaccharide, and water kefir (WK), which is cultivated in a sugar solution composed of the polysaccharide dextran. The diversity of the grains and their microbial consortium, composed of lactic acid bacteria (LAB), acetic acid bacteria (AAB), and yeast, is responsible for the sensory characteristics present in the beverage and for the synthesis of bioactive metabolites, often associated with health benefits, such as antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial, and immunomodulatory activities. Market trends, primarily focused on the plant-based segment, have influenced the incorporation of unconventional matrices and the development of new fermented beverages, such as the addition of plant-based substrates, including fruit juice and plant extracts. In the context of sustainability, the use of agro-industrial byproducts, such as soy whey and coffee cherry, are strategies that, although promising, require further studies regarding the microbiological safety and stability of bioactive compounds. Kefir represents a biotechnological system with functional potential, but it still has scientific gaps, such as the optimization of fermentation, identification of the microbiota, and metabolites (peptides, acids, and vitamins).

Keywords: Fermented beverage. Fermentation. Milk kefir. Water kefir.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos as bebidas fermentadas têm recebido uma maior atenção devido ao potencial funcional associado à presença de microrganismos probióticos e compostos bioativos. Entre essas bebidas, o kefir se destaca pela diversidade microbiológica e pela possibilidade de aplicação em formulações sustentáveis, como a utilização de subprodutos da indústria láctea. O kefir são grãos simbióticos que abriga uma comunidade complexa de bactérias e leveduras. Embora exista a possibilidade de consumir os grãos de kefir, é mais comum a sua utilização como cultura iniciadora na fermentação das bebidas.

Originalmente, existem dois tipos de grãos, diferenciados a partir de sua matriz de cultivo: o kefir de leite (KL), tradicionalmente fermentado em soluções lácteas (bovino, caprino, bubalino), e o kefir de água (KA), cultivado em soluções açucaradas, frequentemente acrescidas de frutas e vegetais. A diferença principal entre os dois tipos de kefir está na matriz de cultivo, o KL, a fermentação ocorre em matriz polissacarídica, o *kefiran*, ao ser inoculado em soluções lácteas, resulta em uma bebida viscosa e levemente ácida, característica obtida em decorrência do metabolismo das leveduras e das bactérias ácido-lácticas (BAL) presentes em seus grãos. No KA, sua matriz é composta pelo polissacarídeo dextrana, que ao ser inoculado em solução açucarada origina uma bebida efervescente, refrescante e com baixo teor alcoólico, resultante da atividade metabólica das leveduras, bactérias ácido-lácticas (BAL) e bactérias ácido-acéticas (BAA) (Fiorda *et al.*, 2017).

Nesse contexto, essa complexidade metabólica é responsável pela produção de compostos bioativos, como derivados de leucina e compostos fenólicos, que têm sido associados a vários benefícios para a saúde. Alguns desses benefícios incluem atividades antioxidantes, anti-hipertensiva, anti-inflamatórios, antitumorais, antidiabéticos, antialérgicos, hepatoprotetores e gastroprotetores (Güzel-Seydim *et al.*, 2021).

Com o avanço das pesquisas, o kefir deixou de ser apenas uma bebida associada à matrizes lácteas ao se tornar adaptável a diversas matrizes, como a adição de matrizes vegetais visando melhoria no perfil de compostos fenólicos após a fermentação (Dikmetas *et al.*, 2026), a exemplo da utilização de frutas da estação, visando o aumento de nutrientes para além da ação funcional e sustentabilidade agrícola e ambiental (Güzel-Seydim *et al.*, 2023), além de representar alternativa para a sua inserção no mercado *plant-based* para

consumidores com restrições alimentares, seja por questões de intolerância, alergias ou preferências alimentares para veganos, vegetarianos ou flexitarianos.

Visto isso, o objetivo desse levantamento bibliográfico foi revisar a literatura científica sobre as principais diferenças entre kefir de leite e kefir de água, considerando suas características estruturais, microbiológicas, bioquímicas e físico-químicas, bem como os avanços científicos e tecnológicos em diferentes matrizes alimentares.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. DIFERENCIAÇÃO ESTRUTURAL E MICROBIOLÓGICA ENTRE KEFIR DE LEITE (KL) E DE KEFIR DE ÁGUA (KA)

Os grãos de KL são brancos ou cremes e têm estrutura semelhante a pequenos floretes de couve-flor (Güzel-Seydim *et al.*, 2021). Sua matriz é composta, em sua maior parte, pelo polissacarídeo *kefiran*, caracterizado como um glucogalactano solúvel em água e por proteínas do leite. Em contraste, os grãos de KA, também conhecidos como "tibicos", são menores, apresentam consistência mais frágil, cerosa e aspecto translúcido, sua coloração pode ser variável, dependente do tipo de açúcar utilizado e adição de substratos como frutas ou vegetais. Sua matriz polissacarídica é composta predominantemente por dextrana, sintetizada pelos microrganismos presentes em sua comunidade simbiótica (Pendón *et al.*, 2022).

Do ponto de vista químico, o KL é caracterizado por uma matriz complexa de polissacarídeos, proteínas e lipídios. As proteínas do KL são, em sua maioria, caseínas (κ -, α 1 - e α 2 -caseína) e proteínas do soro, como a β -lactoglobulina (Santini *et al.*, 2020). Em relação aos lipídios, o KL mantém as gorduras do leite integral (cerca de 3,5% no leite bovino), além dos esfingolipídios, que em pesquisas laboratoriais mostraram ter relação com efeitos anticarcinogênicos (Güzel-Seydim *et al.*, 2021).

Em contrapartida, o KA é caracterizado predominantemente por matriz polissacarídica, embora possa ser enriquecida por meio da adição de substratos diversos, seus grãos são predominantemente estruturados por dextrana, um homopolissacarídeo de glicose com ligações α -1,6 e ramificações α -1,3, responsável por fornecer sua textura característica (Pendón *et al.*, 2022). Embora o KA tenha baixa concentração de proteínas e lipídeos, inovações tecnológicas empregando soro de soja evidenciam a capacidade de biotransformação de seus microrganismos simbióticos, por meio da fermentação,

acarretando a síntese de glicerofosfolipídios, especificamente glicerofosfosserinas (PS) e glicerofosfoetanolaminas (PE), a partir da degradação de glicerofosfocolinas. A fermentação com adição de outras soluções não lácteas também pode acarretar a liberação de outros compostos fitoquímicos, como ácidos fenólicos e flavonoides, que elevam o potencial antioxidante da bebida (Azi *et al.*, 2021).

2.2. DIVERSIDADE MICROBIANA E MUTUALISMO

A composição microbiana do kefir varia conforme a origem geográfica, condições de cultivo e composição do substrato. Recente, estudos com abordagens multi-ômicas, revelaram uma complexidade microbiana significativamente maior do que aquela detectada por técnicas dependentes de cultivo, evidenciando a carência no conhecimento da diversidade, especialmente em microrganismos selvagens e funcionalmente relevantes (Güzel-Seydim *et al.*, 2021).

As bactérias ácido-láticas (BAL) são o grupo predominante em ambos os tipos de kefir, seu metabolismo é responsável pela acidificação do meio e pela síntese da matriz que forma os grãos. No KL, destacam-se os *Lactobacillus kefiranofaciens* (principal produtor de *kefiran*), *Lactobacillus kefiri* e *Lentilactobacillus helveticus*. No KA, os gêneros mais frequentes incluem *Lentilactobacillus hilgardii* (essencial para a síntese de dextrana), *Liquorilactobacillus nagelii*, *Lacticaseibacillus paracasei* e *Leuconostoc* spp. As bactérias ácido-acéticas (BAA), como *Acetobacter fabarum* e *Acetobacter orientalis*, também estão presentes e, embora desempenhem um papel secundário, são importantes para a modulação do perfil aromático e para a produção de ácidos orgânicos em condições aeróbicas (Chen *et al.*, 2024).

As leveduras são responsáveis pela produção de etanol e dióxido de carbono, que conferem à bebida sua característica gaseificada. A *Saccharomyces cerevisiae* é a espécie mais comum, presente em ambos os sistemas (Pendón *et al.*, 2022). No KA, observa-se uma maior diversidade de leveduras, como *Pichia membranifaciens* e *Zygorulasporea florentina* (Breselge *et al.*, 2025). As leveduras favorecem o crescimento de bactérias ácido láticas por meio da síntese de vitaminas do complexo B e fornecimento de aminoácidos oriundos de sua autólise.

A estabilidade do kefir para consumo humano, reside no mutualismo, enquanto as bactérias acidificam o meio, oferecendo proteção contra patógenos, as leveduras fazem a

hidrólise da sacarose, liberando glicose e frutose no meio, que são utilizadas como substrato para a fermentação das BAL.

2.3. ASPECTOS BIOQUÍMICOS DA FERMENTAÇÃO

A fermentação láctica compreende a principal via metabólica em ambas as bebidas, sendo a origem do substrato inicial determinante para os diferentes fluxos de carbono e para as interações entre as enzimas envolvidas. No KL, o metabolismo é centrado na degradação da lactose. A enzima β -galactosidase realiza a hidrólise desse dissacarídeo, resultando em glicose e galactose. A glicose é direcionada à via glicolítica, enquanto a galactose pode ser metabolizada por vias alternativas. Como principal produto da fermentação, observa-se a formação de ácido láctico. Entretanto, a presença de leveduras também favorece a produção de dióxido de carbono e etanol. No KA, por sua vez, o metabolismo é iniciado pela hidrólise extracelular da sacarose. Esse processo é mediado pela enzima invertase, secretada pelas leveduras e por algumas BAL, atuam nesse processo, promovendo a liberação de glicose e frutose no meio. A glicose livre pode ser utilizada como substrato na fermentação de leveduras e BAL, liberando como resultados lactato, acetato, etanol e CO₂ ou seguir na via de polimerização, na qual enzimas extracelulares do tipo dextranasucrases extracelular reutilizam a sacarose para sintetizar dextrana, necessárias para a integridade estrutural e o crescimento dos grãos (Zhang *et al.*, 2026).

2.4. PRODUÇÃO DE ÁCIDOS ORGÂNICOS

O acúmulo de ácido láctico é o principal responsável pela diminuição do pH (normalmente para níveis abaixo de 4,0). Outros ácidos, como o acético, são produzidos em quantidades que variam de acordo com a disponibilidade de oxigênio e a presença de BAA. Compostos como o ácido cítrico, málico e tartárico, originalmente presentes em frutas como a cereja do café e a chokeberry-preta também podem passar por biotransformações, influenciando o perfil sensorial e a segurança microbiológica da bebida (Chomphoosee *et al.*, 2025; Esatbeyoglu *et al.*; 2023).

2.5. FORMAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS

Durante a fermentação, ocorre a síntese de metabólitos secundários de alto valor funcional. No KL, as BAL exercem uma atividade proteolítica sobre as caseínas, liberando peptídeos bioativos com propriedades anti-hipertensivas e imunomoduladoras (Santini *et al.*, 2020). Diante da possibilidade da associação de matriz do KA em conjunto com extratos de

vegetais, a fermentação do KA favorece a liberação de compostos fenólicos, possibilitando potencializar o efeito funcional para além da nutrição básica, compostos fenólicos são frequentemente associados a atividades antioxidantes e antimicrobianas. Além disso, a produção de exopolissacarídeos (EPS), como dextrana e o prebiótico levan, contribui para as propriedades reológicas e funcionais da bebida (Arrieta-Echeverri *et al.*, 2023).

O kefir é amplamente conhecido por seus benefícios à saúde, que incluem atividade antimicrobiana, antitumoral, hipocolesterolêmica e anti-inflamatória. Essas características são conferidas tanto aos microrganismos vivos quanto às moléculas efetoras derivadas de seu metabolismo, como os pós-bióticos (Salvatore *et al.*, 2025).

As linhagens isoladas de kefir, como *Lactocaseibacillus paracasei* e *Lentilactobacillus mali*, mostraram potencial probiótico ao resistirem ao estresse gastrointestinal e a apresentarem capacidade de adesão à mucosa (Pendón *et al.*, 2022). No contexto clínico, o consumo do kefir tem sido associado à melhora na digestão da lactose, eubiose intestinal e auxílio no controle da glicemia em pacientes diabéticos (Güzel-Seydim *et al.*, 2021). Recentemente, o bioenriquecimento de grãos de kefir com selênio tem se mostrado uma estratégia promissora para converter selênio inorgânico em formas orgânicas de maior biodisponibilidade, potencializando os efeitos antioxidantes no organismo hospedeiro (Zhang *et al.*, 2026).

Entre os diversos atributos funcionais do kefir, sua ação imunomoduladora se destaca como um dos fatores mais promissores. O consórcio microbiano e seus metabólitos estimulam as células do sistema imune inato e modulam a resposta de citocinas, tendo a capacidade de suprimir a resposta da imunidade humoral (Th2) e favorecer a imunidade mediada por células (Th1) (Santini *et al.*, 2020). Especificamente, as vesículas extracelulares (EVs) de bactérias como *Lactobacillus kefiri* e *Enterococcus faecium* são fundamentais para a regulação da inflamação, reduzindo a ativação da via NF- κ B (Fator Nuclear kappa B) (Li; Bai, 2026). Além disso, a estratégia de bioenriquecimento com selênio e zinco torna o kefir um veículo promissor para suporte imunológico, nos quais compostos como a selenometionina, possuem a capacidade de regulação da resposta imunológica e combate ao estresse oxidativo (Zhang *et al.*, 2026).

2.6. PROCESSOS TRADICIONAL E TECNOLÓGICOS NA PRODUÇÃO DE KEFIR

A produção artesanal tem como principal característica o sistema de *backslopping*, no qual os grãos são reaproveitados após a fermentação (Pendón *et al.*, 2022). No KL, o processo envolve a inoculação dos grãos em leite cru ou pasteurizado na proporção de 2% a 10% (p/v), com incubação em temperatura entre 18 °C e 28 °C por 18 a 28 horas. O ponto final ocorre quando o pH atinge valores próximos a 4,6, resultando na coagulação das proteínas (Güzel-Seydim *et al.*, 2021).

No KA, a complexidade técnica aumenta devido à necessidade de fontes externas de nitrogênio e minerais. O substrato padrão é uma solução de sacarose (6% a 30% p/v), podendo ser acrescidas de frutas frescas ou secas. O uso de figos secos constitui uma estratégia tecnológica relevante, pois, além de fornecerem nutrientes, possuem alta concentração de cálcio e capacidade de tamponamento, o que favorece a atividade das glucansucrases das BAL, promovendo o aumento da biomassa dos grãos e minimizando o estresse ácido excessivo. A fermentação de KA geralmente ocorre entre 21 °C e 30 °C, por 24 a 96 horas. Uma técnica comum para intensificar a complexidade sensorial é a segunda fermentação, realizada após a remoção dos grãos, com a adição de sucos de frutas e armazenamento sob refrigeração por 24 horas para aumentar a carbonatação para obter bebida efervescente e borbulhante (Lynch *et al.*, 2021; Pendón *et al.*, 2022).

Para transposição em escala industrial, é necessário a padronização de parâmetros na produção, para manter a qualidade e uniformidade, que no método artesanal podem variar, pois é dependente de condições intrínsecas e extrínsecas da matriz e das condições de incubação. O processo industrial de KL frequentemente substitui os grãos por culturas starter isoladas (2% a 8%), o que possibilita etapas de homogeneização e maturação (8 °C a 10 °C por 12 h) para obtenção de uma textura uniforme (Güzel-Seydim *et al.*, 2021). No KA, um dos maiores desafios é garantir a estabilidade da biomassa. Estudos indicam que o congelamento e descongelamento de grãos de KA podem causar danos de forma irreversível à matriz polissacarídica, o que compromete o ganho de peso em ciclos subsequentes e imprecisão da concentração dos metabólitos funcionais (Gökirmakli *et al.*, 2024).

Para contornar essa variabilidade, a indústria utiliza consórcios microbianos definidos: *L. hilgardii*, *S. cerevisiae* e *Acetobacter*, frequentemente liofilizados, garantindo contagens microbiológicas superiores a 7 log UFC/mL (Chomphoosee *et al.*, 2025). O controle dos níveis

de oxigênio constitui um parâmetro tecnológico decisivo na modulação do produto, pois em condições aeróbicas (com troca gasosa por meio de filtros de 0,2 µm), há um favorecimento do crescimento de bactérias acéticas e a produção de ácidos orgânicos, enquanto condições anaeróbicas estimulam o metabolismo das leveduras, elevando o teor de etanol e dióxido de carbono (Breselge *et al.*, 2025).

2.7. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO KEFIR

As propriedades físico-químicas do kefir são intrinsecamente dependentes da matriz de fermentação, apresentando perfis distintos entre as versões lácteas e não lácteas. O KL apresenta valor energético médio de 65 kcal/100 g, contendo aproximadamente 3,3% de proteínas e 3,5% de lipídios (Santini *et al.*, 2020). Em contrapartida, o KA apresenta essencialmente uma matriz de carboidratos rica em minerais e metabólitos secundários como ácidos orgânicos, vitaminas do complexo B e peptídeos bioativos (Güzel-Seydim *et al.*, 2021).

A fermentação em ambos os sistemas é caracterizada por uma queda de pH devido ao acúmulo de ácidos orgânicos, embora o KA tenda a atingir níveis de acidez final mais elevados (Tabela 1). No KA, a redução do teor de sólidos solúveis (°Bx) reflete a eficácia do consórcio em biotransformar a sacarose (Gökirmakli *et al.*, 2024). Um diferencial relevante reside na efervescência e no teor alcoólico, enquanto o KL comercial apresenta teor de álcool praticamente nulo (< 0,5%), no KA o teor alcoólico pode alcançar até 2,0% em 48 horas, principalmente em fermentações conduzidas por *Zymomonas mobilis*, podendo ultrapassar 10% em processos artesanais mais prolongados (Breselge *et al.*, 2025).

Tabela 1 – Parâmetros físico-químicos e composicionais em KL e KA.

Parâmetro	KL	KA	Fontes
pH Final	4,2 – 4,6	3,3 – 4,0	(Santini <i>et al.</i> , 2020; Güzel-Seydim <i>et al.</i> , 2021; Chomphoosee <i>et al.</i> , 2025)
Teor de Etanol (%)	< 0,5 (indetectável)	0,2 – 2,0 (podendo ultrapassar 10%)	(Güzel-Seydim <i>et al.</i> , 2021; Pendón <i>et al.</i> , 2022)

Parâmetro	KL	KA	Fontes
Acidez Titulável	Elevada (Predomínio de ácido lático)	Variável (ácido lático, acético, málico e tartárico)	(Pendón <i>et al.</i> , 2022; Gökirmakli <i>et al.</i> , 2023; Uzkuç <i>et al.</i> , 2026)
Sólidos Solúveis (°Bx)	~ 3,5 – 4,0 g/100mL	Redução de 30% a 50% em relação ao inicial	(Santini <i>et al.</i> , 2020; Esatbeyoglu <i>et al.</i> , 2023)
Matriz Estrutural	Complexo Kefiran-Proteína-Lipídio	Dextrana (Homopolissacarídeo de glicose)	(Santini <i>et al.</i> , 2020; Pendón <i>et al.</i> , 2022; Chen <i>et al.</i> , 2024)

Fonte: Autoria própria (2026).

2.8. APLICAÇÕES E TENDÊNCIAS DE MERCADO

A inovação biotecnológica e tendências de mercado do kefir refletem a busca mundial por produtos mais sustentáveis, funcionais e convenientes. Uma forte tendência é a utilização de kefir no aproveitamento de resíduos industriais como o soro de soja, um subproduto poluente da indústria do tofu, estudos evidenciaram que a fermentação do kefir possui capacidade para alterar a fitoquímica do soro de soja, e, assim, melhorar suas propriedades nutricionais e bioativas (Azi *et al.*, 2021).

Segundo Black *et al.* (2025), o interesse no consumo do kefir de leite e de água, impulsiona a necessidade de pesquisas robustas sobre o impacto no microbioma humano e comprovação dos efeitos benéficos no sistema gastrointestinal. Ainda, carece de pesquisas científicas conclusivas, que sustentem a liberação do consumo indiscriminado do kefir, como bebida fermentada funcional sem risco à saúde humana.

Outro subproduto que podemos destacar é a cereja do café, resíduo frequentemente descartado como efluente na produção do café. Pesquisas recentes com a fermentação desse subproduto com grãos de KA, relataram a obtenção de uma bebida rica em antioxidantes, compostos bioativos, como o ácido clorogênico e alta aceitação sensorial. Esse ácido também tem efeito termogênico, reduzindo a absorção de glicose, acelerando a queima de gordura e combatendo o estresse oxidativo (Chomphoosee *et al.*, 2025).

Na indústria de laticínios, o emprego da fermentação de KA na caseína revelou resultados significativos na alteração da estrutura da caseína, aumentando a digestibilidade e solubilidade em água, além da síntese de compostos bioativos, como os compostos fenólicos

que protegem o sistema cardiovascular, auxiliam no controle da glicemia e da obesidade (Alrosan *et al.*, 2024).

Como alternativa para o mercado *plant-based*, a fermentação de grãos de KA em substratos vegetais tem registrado uma crescente tendência no desenvolvimento de novas bebidas fermentadas. A adição de suco de frutas, como maçã, laranja, pitaya, kiwi, tangerina e caqui, evidenciaram que além de fornecer substrato de fonte energética para a fermentação, aumenta o teor de compostos fenólicos e atividade antioxidante (Dikmetas *et al.*, 2026; Güzel-Seydim *et al.*, 2023). No que diz respeito aos extratos vegetais, a fermentação pode degradar compostos antinutricionais encontrados em plantas, como taninos e saponinas. Entretanto, a adição de extratos vegetais como de grão-de-bico, amêndoas e arroz, agrega valores nutricionais à bebida, por serem fontes de minerais como cálcio, potássio e magnésio (Ustaoğlu-Gençgönül *et al.*, 2024).

Como alternativa para o segmento tecnológico industrial, estudos com o desenvolvimento de kefir em pó, utilizando métodos de secagem como a liofilização ou spray drying, apontaram um produto estável, com viabilidade de microrganismos e fonte de probióticos (Almeida *et al.*, 2024). Além disso, o desenvolvimento de um alimento probiótico em pó, é importante para a indústria devido ao aumento do *shelf life* e possibilitar a otimização do armazenamento e transporte.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente revisão evidencia que o kefir representa mais que apenas uma bebida fermentada tradicional, seu sistema biológico complexo apresenta potencial funcional, tecnológico e artesanal sustentável. Além disso, sua diversidade estrutural e microbiológica é capaz de influenciar as características físico-químicas e sensoriais, bem como os perfis de metabólitos bioativos gerados durante sua fermentação.

Do ponto de vista bioquímico, fica evidente que o consórcio simbiótico entre os probióticos e prebióticos durante a fermentação, é crucial na geração de compostos responsáveis por atividades benéficas à saúde, como atividade antioxidante, anti-inflamatória e antimicrobiana, reforçando o kefir como uma bebida com propriedades funcionais além da capacidade de nutrição.

No âmbito tecnológico, as tendências de mercado, principalmente pela crescente demanda de produtos *plant-based* e sustentáveis, impulsionam a necessidade do

desenvolvimento e aperfeiçoamento de novos produtos com a adição de extratos vegetais e sucos de frutas, pois estudos realizados já demonstraram ser uma estratégia eficaz tanto no enriquecimento nutricional, quanto no aumento da atividade antioxidante. Da mesma forma que o aproveitamento de subprodutos agroindustriais, como o soro de soja, a caseína e a cereja do café, além de agregar valor econômico a resíduos que seriam descartados, alia a possibilidade de desenvolvimento de bebidas fermentadas com diferentes perfis bioativos. Porém, essas estratégias, apesar de promissoras, ainda foram pouco exploradas do ponto de vista de segurança microbiológica e estabilidade dos compostos bioativos, bem como o impacto da sazonalidade dos substratos vegetais, o que apresenta uma lacuna relevante a ser melhor explorada.

Por fim, o kefir se mostra como objeto de grande relevância para a ciência e tecnologia de alimentos. Com isso, se faz necessários avanços no conhecimento acerca de algumas áreas, como a otimização de processos na fermentação, maior conhecimento da sua variedade microbiana, das interações entre a microbiota dos grãos com diferentes substratos e aplicações clínicas que consolidam o kefir de leite e água, como um alimento funcional.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, K. V. et al. Powdered water kefir: effect of spray drying and lyophilization on physical, physicochemical, and microbiological properties. *Food Chemistry Advances*, v. 5, art. 100759, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100759>.
- ALROSAN, M. et al. Characterisation of the protein quality and composition of water kefir-fermented casein. *Food Chemistry*, v. 443, art. 138574, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138574>.
- ARRIETA-ECHEVERRI, M. C. et al. Multi-omics characterization of the microbial populations and chemical space composition of a water kefir fermentation. *Frontiers in Molecular Biosciences*, v. 10, art. 1223863, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmolb.2023.1223863>.
- AZI, F. et al. Metabolite dynamics and phytochemistry of a soy whey-based beverage bio-transformed by water kefir consortium. *Food Chemistry*, v. 342, art. 128225, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128225>.
- BLACK, E. G. et al. The effects of kefir on the human oral and gut microbiome. *Nutrients*, v. 17, n. 24, art. 3861, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu17243861>.
- BRESELGE, S. et al. Water kefir multi-omics reveals functional redundancies despite taxonomic differences and the underappreciated contribution of yeast. *npj Science of Food*, v. 9, art. 265, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41538-025-00624-3>.

- CHEN, K. et al. Microflora structure and functional capacity in Tibetan kefir grains and selenium-enriched Tibetan kefir grains: a metagenomic analysis. *Food Microbiology*, v. 119, art. 104454, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2023.104454>.
- CHOMPHOOSSEE, T. et al. A novel beverage of coffee cherry (cascara) water kefir rich in antioxidants, bioactive compounds, and exhibiting promising antibacterial and sensory qualities. *LWT*, v. 219, art. 117539, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.117539>.
- DIKMETAS, D. N. et al. Functional fermented fruit juice production and characterization by using water kefir grains. *Journal of Food Science and Technology*, v. 63, n. 2, p. 378-391, 2026. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-025-06209-y>.
- ESATBEYOGLU, T. et al. Physical, chemical, and sensory properties of water kefir produced from *Aronia melanocarpa* juice and pomace. *Food Chemistry: X*, v. 18, art. 100683, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100683>.
- FIORDA, F. A. et al. Microbiological, biochemical, and functional aspects of sugary kefir fermentation: a review. *Food Microbiology*, v. 66, p. 86-95, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.04.004>.
- GÖKIRMAKLI, Ç. et al. Chemical, microbial, and volatile changes of water kefir during fermentation with economic substrates. *European Food Research and Technology*, v. 249, p. 1717-1728, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-023-04242-9>.
- GÖKIRMAKLI, Ç. et al. Microbial viability and nutritional content of water kefir grains under different storage conditions. *Food Science & Nutrition*, v. 12, p. 4143-4150, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.4074>.
- GÜZEL-SEYDIM, Z. B. et al. Use of mandarin and persimmon fruits in water kefir fermentation. *Food Science & Nutrition*, v. 11, p. 5890-5897, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.3561>.
- GÜZEL-SEYDIM, Z. B. et al. A comparison of milk kefir and water kefir: physical, chemical, microbiological and functional properties. *Trends in Food Science & Technology*, v. 113, p. 42-53, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.041>.
- LI, P.; BAI, Y. Proteomic study of extracellular vesicles from kefir-derived lactic acid bacteria and their role in inflammation alleviation. *Food Science and Human Wellness*, v. 16, art. 9250982, 2026. DOI: <https://doi.org/10.26599/FSHW.2026.9250982>.
- LYNCH, K. M. et al. An update on water kefir: microbiology, composition and production. *International Journal of Food Microbiology*, v. 345, art. 109128, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109128>.
- PENDÓN, M. D. et al. Water kefir: factors affecting grain growth and health-promoting properties of the fermented beverage. *Journal of Applied Microbiology*, v. 133, p. 162-180, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/jam.15385>.

- SALVATORE, M. M. et al. Biological activities, biosynthetic capacity and metabolic interactions of lactic acid bacteria and yeast strains from traditional home-made kefir. *Food Chemistry*, v. 470, art. 142657, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.142657>.
- SANTINI, G. et al. Proteomic characterization of kefir milk by two-dimensional electrophoresis followed by mass spectrometry. *Journal of Mass Spectrometry*, v. 55, art. e4635, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/jms.4635>.
- USTAOĞLU-GENÇGÖNÜL, M. et al. Chemical, microbial, and volatile compounds of water kefir beverages made from chickpea, almond, and rice extracts. *European Food Research and Technology*, v. 250, p. 2233-2244, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-024-04533-9>.
- UZKUÇ, H. et al. Comparison of in vitro antioxidant activities of kefir, yogurt, and cheese produced from goat milk. *Food Chemistry: X*, v. 33, art. 103394, 2026. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.103394>.
- ZHANG, J. et al. Selenium bioenrichment and functional enhancement with antioxidants in Tibetan kefir grains fermented mandarin juice. *Food Chemistry*, art. 148112, 2026. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2026.148112>.

CAPÍTULO VII

CONTRIBUIÇÕES DAS VARIEDADES DE *CAMELLIA SINENSIS* PARA A PRODUÇÃO DE KOMBUCHA

CONTRIBUTIONS OF *CAMELLIA SINENSIS* VARIETIES TO KOMBUCHA PRODUCTION

DOI: 10.51859/ampla.iab6164-7

Maria Juliana Muniz da Silva ¹
Neyvan Renato Rodrigues da Silva ²
Rodrigo Rossetti Veloso ²
Walter de Paula Pinto Neto ³
Maria Clara da Silva Pereira ⁴
Samantha Santos Richtrmoc ¹
Neide Kazue Sakugawa Shinohara ⁵

¹ Mestranda em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE

² Docente do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE

³ Doutor em Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

⁴ Discente em Licenciatura em Ciências Biológicas, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE

⁵ Docente do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE

RESUMO

Esse estudo analisa o impacto das variedades de chá verde, chá preto e oolong na produção da kombucha. A utilização de variedades da *Camellia sinensis* como substrato para a kombucha ultrapassa a questão sensorial, configurando-se como um fator que irá influenciar na atividade microbiana e características físico-químicas da bebida. Embora o chá preto seja a base tradicional, estudos recentes demonstram que o chá oolong atua como um substrato superior em termos de atividade metabólica, acelerando a formação do SCOBY e intensificando a produção de ácido acético durante a fermentação. Por outro lado, o chá verde destaca-se pela preservação de compostos bioativos, como Epicatequina (EC), 3-galato de epicatequina (GEC), epigallocatequina (EGC) e 3-galato de epigallocatequina (GEGC), sendo este último a catequina mais abundante, conjunto de catequinas que conferem propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e proteção contra doenças cardiovasculares e diabetes.

Palavras-chave: Chá. Fermentação. Fitoquímico. Kombucha.

ABSTRACT

This study examines the impact of green tea, black tea, and oolong tea varieties on kombucha production. The use of different varieties of *Camellia sinensis* as a substrate for kombucha goes beyond sensory considerations, as it influences the microbial activity and physicochemical characteristics of the beverage. Although black tea is the traditional base, recent studies show that oolong tea acts as a superior substrate in terms of metabolic activity, accelerating SCOBY formation and intensifying acetic acid production during fermentation. On the other hand, green tea stands out for preserving bioactive compounds such as epicatechin (EC), epicatechin-3-gallate (EGG), epigallocatechin (EGC), and epigallocatechin-3-gallate (EGCG)—the latter being the most abundant catechin—a group of catechins that confer antioxidant and anti-inflammatory properties, providing protection against cardiovascular diseases and diabetes.

Keywords: Fermentation. Kombucha. Phytochemical. Tea.

1. INTRODUÇÃO

A origem da kombucha remonta aproximadamente a 220 a.C., no nordeste da China, durante a Dinastia Qin, período em que a bebida era denominada como o “chá da imortalidade” devido às suas propriedades funcionais associadas, como a presença de compostos antioxidantes, atividade antimicrobiana e potenciais efeitos imunomoduladores (Andrade *et al.*, 2025). Mais tarde, em meados do século XX, a kombucha se espalhou para a França e o Norte da África, impulsionando sua difusão global e inserção em diversas culturas (Taupiquorrohman *et al.*, 2024). A kombucha é uma bebida fermentada não alcoólica ou com baixo teor alcoólico, inferior à 3%, tradicionalmente feita a partir da infusão do chá verde, oolong ou preto, folhas derivadas da planta *Camellia sinensis*, acrescida de sacarose e inoculada com uma cultura simbiótica de bactérias e leveduras (SCOBY- *Symbiotic Culture of Bacteria and Yeasts*) (Abaci *et al.*, 2022; Antolak *et al.*, 2021).

A kombucha se caracteriza como uma bebida probiótica por conter microrganismos que interagem com a microbiota intestinal, promovendo alterações tanto em sua composição quanto em sua atividade metabólica. Essa interação contribui para o estabelecimento de um sistema intestinal mais equilibrado e diversificado, o qual está associado a efeitos benéficos à saúde do hospedeiro. Dentre esses efeitos, destacam-se a melhora da função digestiva, o fortalecimento da resposta imunológica e a atenuação de processos inflamatórios (Costa *et al.*, 2023; Permatasari *et al.*, 2022).

Para a produção de kombucha, conforme descrito por Jakubczyk *et al.* (2020), utiliza-se como matéria-prima folhas de chá secas, sendo aproximadamente 5g adicionados a 1L de água e submetida à fervura por um período de 10 a 15 minutos, após a etapa de infusão e decantação, procede-se à remoção das folhas de chá, seguida de adição de sacarose ao extrato, em concentração de aproximadamente 50g/L, com agitação até completa dissolução. Posteriormente, a solução é transferida para recipientes de vidro previamente esterilizados e mantidos em repouso até atingir a temperatura ambiente, tornando-se adequada para a etapa subsequente de fermentação, com a adição do starter.

Nesse contexto, a composição e as propriedades funcionais da kombucha estão diretamente relacionadas aos seus ingredientes, especialmente o tipo do chá utilizado, o qual é rico em polifenóis com reconhecidos efeitos benéficos à saúde humana (Sen *et al.*, 2020). Além disso, a escolha do chá pode influenciar na dinâmica de crescimento de bactérias

acéticas e leveduras, alterando, assim, a cinética e os resultados da fermentação. Durante o processo fermentativo, a interação metabólica entre esses microrganismos desempenha um papel central na formação dos compostos bioativos. Essa associação microbiana possibilita a utilização de diferentes substratos, resultando na produção de uma ampla variedade de metabólitos, tais como ácidos orgânicos, vitaminas do complexo B, compostos fenólicos, aminoácidos, enzimas hidrolíticas e minerais (Kitwetcharoen *et al.*, 2023). Dessa forma, as propriedades bioativas da kombucha decorrem tanto do conteúdo de compostos fenólicos do chá, quanto das transformações bioquímicas promovidas durante a fermentação.

As variedades de chá modulam significativamente o metabolismo microbiano durante a fermentação, os derivados de *Camellia sinensis* apresentam composições fenólicas distintas em função do grau de oxidação durante o processamento. O chá verde é caracterizado por um alto teor de catequinas: Epicatequina (EC), 3-galato de epicatequina (GEC), epigalocatequina (EGC) e 3-galato de epigalocatequina (GEGC), enquanto o chá oolong apresenta flavonóides parcialmente oxidados e uma mistura de catequinas e teaflavinas. Em contrapartida, o chá preto é predominantemente composto por polifenóis mais extensivamente oxidados, incluindo teaflavinas e tearubiginas, formados durante o processo de oxidação enzimática (Chandran *et al.*, 2025; Lamarao, Fialho, 2009). Diante disso, o estudo visa compreender como essas variações físicas e bioquímicas das folhas da *Camellia sinensis*, o chá verde, preto e o oolong influenciam no processo de fermentação da kombucha, refletindo na presença de compostos de fitoquímicos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa de literatura com abordagem qualitativa e do tipo revisão bibliográfica, com o objetivo de analisar produções científicas relacionadas à kombucha, com ênfase na influência do chá verde, preto e oolong, derivados de *Camellia sinensis*.

A coleta de dados foi realizada por meio de buscas em bases de dados científicas, como ScienceDirect, PubMed e Google Scholar, utilizando combinações de palavras-chaves: “Kombucha”, “bebida fermentada”, “green tea”, “oolong tea”, “black tea”, combinados por operadores (AND, OR), com o objetivo de refinar e ampliar os resultados. Foram selecionados artigos publicados no período de 2020 a 2026, considerando a relevância das informações em português e inglês.

Como critérios de inclusão foram considerados artigos científicos, que abordassem diretamente a composição química da kombucha a partir da influência do tipo do chá verde, a simbiose entre bactérias e leveduras, e compostos químicos oriundos do metabolismo durante a fermentação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO ENTRE 2020 A 2026

Nas últimas décadas, a busca por uma alimentação saudável tem aumentado, considerando não apenas os aspectos nutricionais dos alimentos, mas também sua origem e efeitos na saúde. Como resultado, a demanda por alimentos funcionais cresceu significativamente (Cardoso *et al.*, 2020). Nesse contexto, a seleção dos artigos para esta revisão abrangeu o período de 2020 a 2026, compreendendo os últimos seis anos de produção científica sobre a caracterização química da kombucha. No total foram selecionados 36 artigos, distribuídos temporalmente da seguinte forma: 2020 (3 artigos), 2021 (6 artigos), 2022 (10 artigos), 2023 (2 artigos), 2024 (4 artigos), 2025 (6 artigos) e 2026 (3 artigos). Observa-se que os anos de 2022 e 2025, concentram a maior parte das publicações, indicando possíveis picos de interesse no tema.

Tabela 1: Distribuição temporal dos artigos, capturados entre 2020 a 2026.

Ano	Quantidade
2020	3
2021	6
2022	10
2023	2
2024	4
2025	6
2026	3
Total	36

Fonte: Elaboração própria (2026)

3.2. DISTRIBUIÇÃO DE PESQUISA POR PAÍSES DE ORIGEM

Os 36 artigos distribuíram-se por 11 países (Tabela 3): Brasil (12), China (4), Polônia (2), Tailândia (2), EUA (2), Malásia (1), Suíça (1), Bélgica (1), Espanha (1), Reino Unido (1) e Alemanha (1). A diversidade de países demonstra que o interesse pela caracterização química

da kombucha é global, com contribuições relevantes da Europa e da Ásia. Vale ressaltar o alto índice de publicações provenientes de países asiáticos, China, Tailândia e Malásia somam 7 artigos, o que reflete o protagonismo histórico da região no cultivo e consumo de chá, matéria-prima fundamental na produção da kombucha.

Tabela 3 – Distribuição geográfica dos estudos sobre caracterização química da kombucha.

País	Número de artigos	Porcentagem (%)
Brasil	12	33,3
China	4	11,1
Polônia	2	5,6
Tailândia	2	5,6
Estados Unidos	2	5,6
Malásia	1	2,8
Suíça	1	2,8
Bélgica	1	2,8
Espanha	1	2,8
Reino Unido	1	2,8
Alemanha	1	2,8
Total	36	100

Fonte: Elaboração própria (2026).

Entretanto, o Brasil desponta no ranking das produções acadêmicas em estudos sobre Kombucha e atividades bioativas, antimicrobianas e antiinflamatórias. Segundo Deziderio (2025), o grande número de estudos desenvolvidos no Brasil (n=12) decorre do crescente interesse científico e comercial pelo mercado de bebidas fermentadas funcionais, impulsionado pela busca do consumidor por alimentos para além da nutrição.

3.3. DISTRIBUIÇÃO POR TIPO DE CHÁ

Os 36 artigos foram classificados conforme o(s) tipo(s) de chá estudado(s), considerando-se como "misto" qualquer estudo que tenha analisado mais de um tipo (em comparação direta ou em combinação). A distribuição ficou assim: misto (15 artigos; 41,7%), chá verde exclusivo (12 artigos; 33,3%), oolong exclusivo (5 artigos; 13,9%) e chá preto exclusivo (4 artigos; 11,1%). O alto percentual de estudos mistos evidencia o interesse científico em compreender como diferentes matrizes influenciam as propriedades químicas e funcionais da kombucha, enquanto o chá verde mantém-se como a base individual mais investigada, alinhado à tradição original da bebida.

Tabela 2: Distribuição dos estudos sobre a caracterização química da kombucha, conforme os tipos de chá.

Tipo de chá	Número de artigos	Proporção (%)
Misto (Dois ou mais tipos)	15	41,7
Chá verde (Exclusivamente)	12	33,3
Chá Oolong (Exclusivamente)	5	13,9
Chá preto (Exclusivamente)	4	11,11
Total	36	100

Fonte: Elaboração própria (2026).

3.4. DISTRIBUIÇÃO POR RESULTADOS DE PESQUISAS SOBRE A UTILIZAÇÃO DOS CHÁS NA PRODUÇÃO DE KOMBUCHA

A complexidade bioquímica da kombucha está intrinsecamente ligada aos substratos utilizados para a produção, como exposto na Tabela 4 e estudos recentes têm se concentrado para decifrar como as variedades de folhas que vem da *Camellia sinensis*, como o chá verde, chá preto e oolong influenciam no resultado final da bebida. Como exposto por Jung *et al.* (2018), a escolha adequada do chá para a produção influencia a formação dos compostos bioativos, fenólicos e ácidos que ocorrem através da interação com a cultura simbiótica de bactérias e leveduras, durante o processo de fermentação.

Tabela 4: Análise da influência dos chás no processamento da produção de Kombucha partir da seleção de 11 artigos

Autores(as)	Revista/Periódico	Chá	Principais resultados
Ahmed <i>et al.</i> (2020)	Anais de Ciências Agrícolas	Preto	Cultivar a kombucha com chá de arroz (<i>Oryza sativa</i>), cevada (<i>Hordeum vulgare</i>) e chá preto (<i>Camellia sinensis</i>), onde no resultado o chá preto é mais eficiente para a produção da kombucha, oferecendo propriedades biológicas e químicas superiores e um potencial antioxidante.
Cardoso <i>et al.</i> (2020)	Food Research International	Verde e preto	O substrato de chá preto favorece o acúmulo de uma rede antioxidante diversificada e polimérica, o chá verde potencializa as propriedades citotóxicas seletivas e o perfil sanitário-antimicrobiano mais ácido e rica em catequinas.

Autores(as)	Revista/Periódico	Chá	Principais resultados
Barbosa <i>et al.</i> (2021)	LWT- Ciência e Tecnologia de alimentos	Verde e preto	Na composição microbiana, ambos os substratos apresentam crescimento de leveduras e bactérias acéticas, sem a detecção de bactérias lácticas. Quanto ao teor fenólico, o chá preto exibiu concentrações superiores às do chá verde. A produção de ácidos e de etanol foi pelo menos 2,3 vezes maior no chá verde, que também manifestou acidez titulável total mais elevada. No eixo de sinergia e controle sanitário, a presença de catequinas e bactérias <i>Komagataeibacter</i> auxiliou na inibição de microrganismos contaminantes.
Zhou <i>et al.</i> (2022)	Antioxidants	Preto e verde	Em compostos fenólicos, o chá preto apresenta maior diversidade e abundância, além da superioridade na produção de aminoácidos e no poder antioxidante. Já o chá verde destaca-se pela ação antibacteriana, maior concentração de ácido glucurônico e cinética de acidificação mais acelerada.
Wang <i>et al.</i> (2022)	LWT- Ciência e Tecnologia de alimentos	Preto e verde	Ao utilizar bactérias acéticas e cepas puras, a kombucha de chá preto elevou em 55,96% seus polifenóis e em 88,89% os flavonoides. Já o chá verde apresentou incrementos superiores de 134,65% e 103,56%, respectivamente, além de originar uma bebida mais ácida.
Dartora <i>et al.</i> (2023)	Ciência e Tecnologia de alimentos	Preto e verde	No perfil fitoquímico e antioxidante, o chá preto exibe maior diversidade e abundância fenólica total, enquanto o verde destaca-se pela alta concentração de catequinas. Na eficácia antibacteriana e antiproliferativa contra linhagens tumorais o chá verde foi superior, já o preto sintetizou mais aminoácidos e purinas. Em termos microbiológicos, o verde apresentou acidificação mais acelerada e biofilmes mais espessos, enquanto o preto sustenta leveduras mais abundantes e diversas.

Autores(as)	Revista/Periódico	Chá	Principais resultados
Chongn. <i>et al.</i> (2024)	Processes	Oolong, verde e preto	Chá Oolong teve a maior taxa de formação no SCOBY (9,980 g/L-dia) comparado ao chá verde e preto.
Ranabhat <i>et al.</i> (2025)	Life Sciences	Oolong e verde	O chá verde apresentou o maior teor de polifenóis totais (272,60 mg/L) enquanto o Oolong teve a menor produção.
Ounsun B. <i>et al.</i> (2025)	Current Nutrition Reports	Verde e Oolong	O chá verde foi superior em atividade antioxidante devido às catequinas. Oolong mostrou eficácia contra patógenos.
Yuan <i>et al.</i> (2025)	Beverage Plant Research	Verde e preto	Embora ambas as bases sejam saudáveis, o chá verde foi o mais indicado para a produção eficiente do SCOBY, enquanto o chá preto resultou em uma bebida com maior riqueza de leveduras e uma rede de interações bioproteicas mais complexas favorecendo o sistema digestivo.
Chandran <i>et al.</i> (2026)	Food Chemistry	Chá verde, preto e oolong	O chá verde apresentou maior bioatividade e acidez, já o chá preto maior crescimento microbiano e intensidade fermentativa e o oolong com presença de catequinas e teaflavinas e com uma produção equilibrada de compostos voláteis.

Fonte: Elaboração própria (2026).

Os dados apresentados na Tabela 4 evidenciam que a natureza do chá e suas variações na composição química atuam como um determinante no perfil final da bebida. Diversos autores relataram que kombuchas produzidas com chá verde apresentaram maior produção de ácidos orgânicos, maior acidez titulável e maior potencial bioativo, favorecendo uma fermentação mais intensa em termos de produção metabólica. Em contrapartida, o chá preto apresentou maior diversidade fenólica, abundância de aminoácidos e antioxidantes, favorecendo características funcionais e sensoriais da bebida. O chá oolong, por sua vez, apresentou uma produção equilibrada de compostos voláteis, catequinas e teaflavinas, além de apresentar elevada taxa de formação do SCOBY e potencial antimicrobiano. Entretanto,

alguns trabalhos demonstraram menor produção de polifenóis totais quando comparado ao chá verde. A escolha do substrato atua como um fator na modulação das características físico-químicas, microbiológicas e funcionais da bebida final (Chandran *et al.*, 2026).

A sistematização dos 36 artigos (Tabela 1), evidencia que pesquisas sobre a caracterização química da kombucha encontram-se em um momento de maturação, com diversificação tanto das matrizes investigadas quanto das origens geográficas dos estudos. A expressiva participação de investigações mistas aponta para uma tendência metodológica para comparar uso de blend de substratos em vez de analisá-los isoladamente, o que permite avançar na compreensão de como cada tipo de chá modula perfis antioxidantes, microbiológicos e funcionais.

No âmbito geográfico, a forte presença brasileira não reflete necessariamente uma maior atividade científica nacional sobre o tema, mas sim o viés decorrente do filtro de busca de palavras-chaves em português e inglês adotados na seleção dos artigos. Em contrapartida, a dispersão de estudos por países europeus e asiáticos, mesmo sem o benefício de um filtro linguístico favorecendo essas regiões, indica um interesse global mais consolidado do que os números brutos sugerem. Temporalmente, a alternância entre os anos de pico (2022 e 2025) e anos de menor produção (2023), sugerem ciclos de alternância que podem estar associados a eventos científicos, da pandemia mundial ou ao próprio ritmo de interesse dos pesquisadores em bebidas fermentadas.

A presente revisão apresenta limitações que devem ser consideradas na interpretação dos resultados. A principal delas é o viés linguístico: ao restringir a busca a artigos publicados em português e inglês, excluiu-se automaticamente produções relevantes em outros idiomas, como árabe, russo, alemão, coreano, japonês e chinês, estes últimos particularmente devido a tradição asiática no estudo do chá e da kombucha. Além disso, a ênfase em bases de dados que recuperam amplamente a produção brasileira, aliada ao filtro em português, distorce a percepção real da distribuição geográfica da pesquisa sobre o tema. Outra limitação relevante é a exigência de que os artigos contivessem descrição química da kombucha, o que excluiu estudos de caráter microbiológico, sensorial ou clínico, restringindo o escopo da abrangência do tema.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados dessa revisão confirmam que a escolha do chá exerce influência direta sobre as características químicas e biológicas da kombucha, pois a composição do substrato com as diferenças na concentração fenólicos, aminoácidos e outros metabólitos bioativos pode modificar o perfil da bebida. Dessa forma, o chá utilizado não atua apenas como um substrato nutricional, mas como um fator determinante para as características funcionais, químicas e sensoriais do produto. Diante disso, torna-se necessários novos estudos voltados à otimização e padronização de parâmetros como a concentração de substratos e os parâmetros fermentativos, assegurando um produto de reprodutibilidade e com características funcionais otimizadas.

REFERÊNCIAS

- ABACI, Nurten; SENOL DENIZ, Fatma Sezer; ORHAN, Ilkay Erdogan. Kombucha – An ancient fermented beverage with desired bioactivities: A narrowed review. **Food Chemistry**, v. 14, p. 100302, jun. 2022.
- AHMED, Rania F.; HIKAL, Mohamed S.; ABOU-TALEB, Khadiga A. Biological, chemical and antioxidant activities of different types Kombucha. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 65, n. 1, p. 35–41, jun. 2020.
- ANDRADE, Dhuelly Kelly Almeida *et al.* Kombucha: An Old Tradition into a New Concept of a Beneficial, Health-Promoting Beverage. **Foods**, v. 14, n. 9, p. 1547, 28 abr. 2025.
- ANTOLAK, Hubert; PIECHOTA, Dominik; KUCHARSKA, Aleksandra. Kombucha Tea—A Double Power of Bioactive Compounds from Tea and Symbiotic Culture of Bacteria and Yeasts (SCOBY). **Antioxidants**, v. 10, n. 10, p. 1541, 28 set. 2021.
- BARBOSA, Cosme Damião *et al.* Microbial–physicochemical integrated analysis of kombucha fermentation. **LWT**, v. 148, p. 111788, ago. 2021.
- CARDOSO, Rodrigo Rezende *et al.* Kombuchas from green and black teas have different phenolic profile, which impacts their antioxidant capacities, antibacterial and antiproliferative activities. **Food Research International**, v. 128, p. 108782, fev. 2020.
- CARRILHO, A. J. B.; SANTOS, L. C. R.; TACCOLA, M. F. **Desenvolvimento e análise físico-química do kombucha tradicional e saborizado**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso.
- CHANDRAN, Akshay K. *et al.* Matrix-dependent modulation of chemical composition, volatile profile, and biological activity of kombucha beverages from different tea types. **Food Chemistry**, v. 514, p. 149160, jun. 2026.

- CHANDRAN, Akshay K. *et al.* Comparison of polyphenol and volatile compounds and in vitro antioxidant, anti-inflammatory, antidiabetic, anti-ageing, and anticancer activities of dry tea leaves. **LWT**, v. 222, p. 117632, abr. 2025.
- CHONG, A. Q. *et al.* Modelling pH dynamics, SCOBY biomass formation, and acetic acid production of kombucha fermentation using black, green, and oolong teas. **Processes**, v. 12, n. 7, p. 1301, 2024.
- COSTA, Mirian Aparecida De Campos *et al.* Effect of kombucha intake on the gut microbiota and obesity-related comorbidities: A systematic review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 63, n. 19, p. 3851–3866, 26 jul. 2023.
- DADA, A. P. *et al.* Caracterização de kombucha elaborado a partir de chá verde. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 15, p. e576101522992-e576101522992, 2021.
- DARTORA, Bruna. **Em busca da Kombucha perfeita: kombuchas de chá verde, preto e erva-mate, mapa sensorial percebido, emoções e o efeito do tempo de fermentação nos parâmetros físico-químicos, atributos sensoriais e compostos voláteis.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Encantado, 2023.
- DEZIDERIO, Marcela Aparecida. **Kombucha: cienciometria, caracterização e estudo da fermentação.** 2025. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2025. Disponível: teses.usp.br/teses/disponiveis/112/112131/td-09022026-085652/pt-br.html
- Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP. Acesso em: 14 maio 2026.
- ETGETON, S. A. P. *et al.* Desenvolvimento de kombucha: caracterização microbiológica, físico-química e aspectos de mercado. **Brazilian Journal of Food Research**, v. 11, n. 4, p. 1-14, 2020.
- GOMES, G.; *et al.* Elaboração e caracterização físico-química e antioxidante de Kombucha. **Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica**, v. 4, p. 1-7, 2023.
- JAKUBCZYK, Karolina *et al.* Chemical Profile and Antioxidant Activity of the Kombucha Beverage Derived from White, Green, Black and Red Tea. **Antioxidants**, v. 9, n. 5, p. 447, 22 maio 2020.
- JUNG, Y. *et al.* Effect of kombucha on gut microbiota in mouse having non-alcoholic fatty liver disease. **Food Science and Biotechnology**, v. 28, n. 1, p. 261–267, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10068-018-0433-y>
- KITWETCHAROEN, Haruthairat *et al.* Kombucha Healthy Drink—Recent Advances in Production, Chemical Composition and Health Benefits. **Fermentation**, v. 9, n. 1, p. 48, 6 jan. 2023.
- KOH, Emily Jia Xin *et al.* Biological activities of kombucha: An integrative narrative review and bibliometric analysis. **Food Bioscience**, v. 79, p. 108703, maio 2026.

- LAMARAO, R. D. C. *et al.*, (2009). Functional aspects of green tea catechins in the cellular metabolism and their relationship with body fat reduction. **Revista de Nutrição**, v.22, n.2, p.257-269.
- LI, S. *et al.* Effect of fermentation time on physiochemical properties of kombucha produced from different teas and fruits: Comparative study. **Journal of Food Quality**, v. 2022, n. 1, p. 2342954, 2022.
- ONSUN, Begum *et al.* Kombucha Tea: A Functional Beverage and All its Aspects. **Current Nutrition Reports**, v. 14, n. 1, p. 69, 24 maio 2025
- PERMATASARI, Happy Kurnia *et al.* Kombucha tea from seagrapes (*Caulerpa racemosa*) potential as a functional anti-ageing food: in vitro and in vivo study. **Heliyon**, v. 7, n. 9, p. e07944, set. 2021.
- RANABHAT, Shristi *et al.* Comparison on chemical profile and sensory attributes of the kombucha beverage produced from black, green, oolong and orthodox tea. **EUREKA: Life Sciences**, n. 2, p. 53–59, 30 jun. 202
- SEN, Gargi *et al.* Bioactive components of tea. **Archives of Food and Nutritional Science**, v. 4, n. 1, p. 001–009, 10 mar. 2020.
- TAUPIQURROHMAN, Opik *et al.* From fermentation to cancer prevention: The anticancer potential of Kombucha. **Phytomedicine Plus**, v. 4, n. 4, p. 100633, nov. 2024.
- TANTICHARAKUNSIRI, W. *et al.* Characteristics and upregulation of antioxidant enzymes of kitchen mint and oolong tea kombucha beverages. **Journal of Food Biochemistry**, v. 45, n. 1, p. e13574, 2021.
- WANG, Xiaotong *et al.* Chemical Profile and Antioxidant Capacity of Kombucha Tea by the Pure Cultured Kombucha. **LWT**, v. 168, p. 113931, out. 2022.
- YUAN, Jiayi *et al.* Microbial composition, bioactive compounds, and sensory evaluation of Kombucha prepared with green tea and black tea. **Beverage Plant Research**, v. 5, n. 1, p. 0–0, 2025.
- ZHOU, Dan-Dan *et al.* Fermentation with Tea Residues Enhances Antioxidant Activities and Polyphenol Contents in Kombucha Beverages. **Antioxidants**, v. 11, n. 1, p. 155, 14 jan. 2022.

CAPÍTULO VIII

FERMENTAÇÃO ESPONTÂNEA DO MEL DE ABELHAS SEM FERRÃO

SPONTANEOUS FERMENTATION OF HONEY FROM STINGLESS BEES

DOI: 10.51859/ampla.iab6164-8

Ana Rafaela Machado de Andrade¹

Neide Kazue Sakugawa Shinohara²

Rafael Barros de Souza³

Marcos Antonio de Morais Junior⁴

Thayza Christina Montenegro Stamford⁵

Walter de Paula Pinto Neto⁶

¹ Bacharela em Ciências Biológicas. Universidade de Pernambuco – UPE

² Professora do Departamento de Tecnologia Rural. Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE

³ Professor do Instituto de Ciências Biológicas. Universidade de Pernambuco – UPE

⁴ Professor do Departamento de Genética. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

⁵ Professora do Departamento de Medicina Tropical. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

⁶ Doutor em Ciências Biológicas. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

RESUMO

A fermentação espontânea é um processo microbiológico em que os microrganismos utilizam carboidratos como substrato para produzir compostos como etanol, ácidos orgânicos, dióxido de carbono e substâncias aromáticas, sendo um fenômeno utilizado desde a antiguidade na produção de alimentos e bebidas. Entre os diversos substratos fermentescíveis, há o mel, produto natural elaborado por abelhas a partir do néctar e secreções vegetais, reconhecido por seu valor nutricional e propriedades funcionais atribuídas a compostos bioativos como os fenólicos. O mel de abelhas sem ferrão (*Meliponini*) apresenta características físico-químicas particulares, como maior umidade, maior acidez e pH mais baixos, além de elevada diversidade microbiana, tornando-o mais suscetível à fermentação quando comparado ao mel de *Apis mellifera*. A fermentação é a principal alteração microbiológica possível no mel, favorecida especialmente por teores de umidade acima de 18%, presença de leveduras osmofílicas, temperatura adequada e processos como cristalização, que aumentam a atividade de água na fase líquida. Durante esse processo, ocorrem mudanças relevantes nos parâmetros físico-químicos, como aumento de umidade e acidez, redução de pH e diminuição de açúcares, além de alterações sensoriais como sabor avinagrado e

formação de bolhas. Embora seja considerada indesejada comercialmente, a fermentação pode ampliar a diversidade química do mel e potencializar benefícios à saúde, como aumento de compostos antioxidantes e ação antimicrobiana. Assim, torna-se necessário desenvolver estratégias e produtos, como bebidas fermentadas, que aproveitem o potencial do mel fermentado, reduzindo desperdícios e agregando valor econômico e funcional ao produto.

Palavras-chave: Abelhas nativa. Hidromel. Microbiota. Propriedades nutritivas.

ABSTRACT

Spontaneous fermentation is a microbiological process in which microorganisms use carbohydrates as substrates to produce compounds such as ethanol, organic acids, carbon dioxide, and aromatic substances, and this phenomenon has been used since ancient times in the production of food and beverages. Among the various fermentable substrates is honey, a natural product made by bees from nectar and plant secretions, recognized for its nutritional value and functional properties attributed to bioactive compounds such as phenolics. Honey produced by stingless bees (*Meliponini*) presents particular physicochemical

characteristics, such as higher moisture content, greater acidity, and lower pH, in addition to high microbial diversity, making it more susceptible to fermentation when compared to honey from *Apis mellifera*. Fermentation is the main possible microbiological alteration in honey, especially favored by moisture contents above 18%, the presence of osmophilic yeasts, suitable temperature, and processes such as crystallization, which increase water activity in the liquid phase. During this process, significant changes occur in physicochemical parameters, including increased moisture and acidity, reduced pH, and decreased sugar content, as well as sensory alterations such as

a vinegary taste and the formation of bubbles. Although it is commercially considered undesirable, fermentation can expand the chemical diversity of honey and enhance health benefits, such as increased antioxidant compounds and antimicrobial activity. Thus, it is necessary to develop strategies and products, such as fermented beverages, that take advantage of the potential of fermented honey, reducing waste and adding economic and functional value to the product.

Keywords: Hidromel. Microbiota. Native bees. Nutritive properties.

1. INTRODUÇÃO

A fermentação em alimentos e bebidas envolve a reprodução de microrganismos que utilizam um substrato, como os carboidratos, para obter um bioproduto, podendo ser realizada por bactérias e fungos. Dentre os principais compostos obtidos, há a formação de álcool, ácido acético e ácido lático, também se destaca pela produção de gás carbônico, de compostos aromáticos e pela liberação de compostos responsáveis por aspectos sensoriais indesejáveis. Esse processo beneficia os seres humanos desde a antiguidade, mesmo que antes não houvesse o conhecimento dos motivos pelos quais eram formados os vinhos, pães e cervejas, tendo em vista que os microrganismos presentes realizavam essa transformação de modo espontâneo. Essa fermentação espontânea não ocorre com a adição de microrganismos selecionados, mas sim quando as leveduras e bactérias selvagens, provenientes das frutas e suas cascas, de cereais e do malte, de laticínios e até mesmo do mel, em condições adequadas de temperatura e umidade, beneficiam-se dos açúcares presentes nesses substratos em que são encontrados para realizar esse tipo de fermentação (Damaso, 2021; Gonçalves, 2017).

Dentre os substratos mencionados, há o mel, que corresponde a uma mistura produzida por abelhas a partir do néctar das plantas, dos nectários extraflorais e das secreções de insetos sugadores. Essa matéria viscosa é utilizada pelos seres humanos por suas propriedades nutritivas, devido a presença de água, proteínas, carboidratos, vitaminas do complexo B, vitamina C e sais minerais (potássio, selênio, fósforo, ferro etc.). Além de suas funcionalidades terapêuticas promovidas por compostos bioativos, como os compostos fenólicos, ácidos orgânicos e enzimas, que têm função antioxidante, antimicrobiana e anti-

inflamatória. Esses componentes podem variar de acordo com a origem floral do néctar, o local onde é produzido, as condições ambientais, a espécie de abelha e a microbiota natural. O mel produzido por abelhas do gênero *Apis* é o mais conhecido e amplamente encontrado no mercado, mas o das abelhas nativas sem ferrão da família Meliponinae tem se destacado por suas características sensoriais, que são resultado da modificação pelas das secreções salivares, glândulas do abdômen e enzimas de glândulas cefálicas (Agriculture Institute, 2025; Camargo, 2006; Feres, 2025; Souza, 2021).

O mel de abelhas meliponas apresenta maior umidade (aproximadamente 27%) que o torna mais fluido, enquanto os méis de *Apis* possuem em torno de 17 a 20%, também apresentam pH mais baixo, maior acidez e cinzas. Além disso, demonstram um predomínio dos compostos fenólicos, como flavonoides, ácidos fenólicos, entre outros. Esse tipo de mel, devido às suas características de umidade elevada e complexidade de microrganismos, durante a sua produção, torna-se mais suscetível à fermentação que, segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), é a única alteração microbiológica que essa mistura pode passar, pois seu teor de açúcar e o baixo pH dificultam que sejam submetidas às contaminações por bactérias, bolores e outros fungos. No entanto, permitem o desenvolvimento das leveduras osmófilas, que possuem o crescimento ótimo em uma concentração de 60% de glicose, normalmente desfavoráveis aos microrganismos (Agriculture Institute, 2025; Souza, 2021).

Normalmente, o mel fermentado apresenta bolhas na superfície e sabor mais ácido considerado desagradável, mas esse processo também promove melhorias na diversidade química deste composto. Assim, o mel fermentado se torna um atrativo por ser benéfico à saúde, tendo em vista que a sua fermentação resulta na produção de peróxido de hidrogênio, que atua como antisséptico, além de aumentar a produção de antioxidantes e promover a proliferação de bactérias e leveduras benéficas, fortalecendo o sistema imunológico, bem como auxiliando na promoção de uma microbioma mais equilibrado. Sendo assim, é necessário desenvolver técnicas que ampliem o consumo do mel fermentado, superando a barreira sensorial desagradável para explorar toda sua complexidade funcional. (Agriculture Institute, 2025; Feres, 2025; Viard, 2026).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. FATORES QUE CONTRIBUEM PARA A FERMENTAÇÃO DO MEL

O mel basicamente é composto por açúcares, água e diversas outras substâncias responsáveis pelo seu potencial nutracêutico, como enzimas, proteínas, ácidos orgânicos, minerais, vitaminas, substâncias antioxidantes etc. Entre os açúcares, 80% deles correspondem à frutose e glicose, já a sacarose e a maltose somam 10 %. A água pode variar de 15 a 21 %, sendo encontrada normalmente em uma concentração de 17 %, conforme mencionado, e pode chegar a 27%, quando se trata de méis produzidos por abelhas nativas sem ferrão. Esses componentes principais influenciam diretamente nas propriedades do mel, sobretudo na viscosidade, densidade, maturidade, cristalização, higroscopicidade (capacidade de absorver umidade do ar), sabor, palatabilidade e conservação. Esse último fator está diretamente relacionado à fermentação do mel, pois, quando os fatores de conservação que impedem o crescimento microbiano são quebrados, as leveduras osmofílicas conseguem sobreviver e se reproduzir, transformando o açúcar em álcool e CO₂, além de uma série de outros compostos secundários (Agriculture Institute, 2025; Camargo, 2006).

Conforme mencionado anteriormente, o teor de umidade está intrinsecamente ligado à fermentação do mel, determinando se irá e quando irá fermentar. Normalmente, o mel com teores de umidade acima de 18% se torna mais propenso à fermentação, que certamente ocorrerá se este mel tiver uma quantidade suficientemente alta de bactérias e leveduras. Exemplificando, as leveduras osmofílicas presentes no mel se tornam ativas em grande quantidade de água e consomem os carboidratos disponíveis, iniciando a fermentação. Como o mel é uma substância naturalmente higroscópica, pode absorver ou perder umidade. Portanto, se a umidade relativa do ar for acima de 60 %, os méis com umidade acima de 18,3 % irão perder água e os que tiverem abaixo de 18,3 % irão ganhar água, por isso existem recomendações acerca da coleta e do armazenamento dessa substância. Na melgueira, caso a coleta seja realizada em dias chuvosos ou nas primeiras horas do dia, que são mais úmidas, há grandes chances desse mel absorver umidade e contribuir tanto para o crescimento microrganismos patogênicos quanto para o desenvolvimento de microrganismos fermentadores e deteriorantes. O mesmo ocorre quando deixado em um pote aberto próximo de panelas fervendo ou de utensílios molhados e, até mesmo, em potes fechados quando

deixados em ambientes úmidos, sendo um forte fator para que ocorra sua fermentação (Agriculture Institute, 2025; Camargo, 2006; Gonçalves, 2017).

A cristalização afeta também a atividade da água e, conseqüentemente, a fermentação do mel. Esse processo é algo que ocorre naturalmente em todos os méis, por serem soluções supersaturadas de açúcar, formando cristais que se depositam no fundo deixando, uma parte líquida com teor de umidade maior que o mel original. Esse processo vai depender da quantidade de açúcares, sobretudo glicose e frutose, da relação com a quantidade de água e das condições ambientais. A glicose, menos solúvel que a frutose, quando se encontra em concentrações acima de 30 % tende a formar cristais em determinada temperatura, depositando-se no fundo, enquanto a parte líquida fica rica em frutose, ácidos e água, que aumenta a sua atividade à medida que a glicose cristaliza, tornando a parte líquida do mel mais propícia à multiplicação das leveduras, resultando na fermentação espontânea. (Agriculture Institute, 2025; Camargo, 2006).

A temperatura afeta a atividade dos microrganismos e por isso também afeta o processo de fermentação, pois as leveduras têm dificuldade em se reproduzir em temperaturas abaixo de 11 °C, entrando em estado de dormência. Em contrapartida, temperaturas muito altas, acima de 40 °C, retardam a fermentação e o aquecimento pode causar a morte das leveduras ao atingir temperaturas acima de 60 °C. Dessa forma, temperaturas em torno de 10 a 37 °C torna as condições favoráveis para os microrganismos fermentadores. Não apenas a temperatura, mas também a variação dela pode contribuir para a fermentação do mel, pois um mel submetido a resfriamentos e aquecimentos repetidos contribuem para a cristalização, que favorece a formação do perfil bifásico do mel e da atividade da água, contribuindo para a fermentação (Agriculture Institute, 2025; Camargo, 2006).

Além disso, o mel possui uma microbiota resultante do néctar das plantas e das próprias abelhas, que são responsáveis pela ocorrência da fermentação. Em sociedades de abelhas sem ferrão (tribo Meliponini), que são o grupo mais diversos e englobam as melíferas (Apini) e as mamangavas (Bombini) e abelhas das orquídeas (Euglossini), que não produzem mel, as bactérias do gênero *Bacillus* são as mais comuns, sendo estas e outras responsáveis pela fermentação do mel, sobretudo a fermentação láctica e acética, quando as bactérias produzem ácido láctico e água ou convertem álcool e oxigênio em ácido acético e água. Além das bactérias, a carga de leveduras também influencia na capacidade fermentativa do mel e a

presença delas está associada ao conteúdo intestinal das abelhas, às colmeias e ao pasto apícola. Os gêneros de leveduras osmofílicas *Saccharomyces*, *Schizosaccharomyces* e *Torula* são predominantes, mas estudos mostram que os fungos dos gêneros *Candida*, *Starmerella*, *Aspergillus*, *Chaetomium*, *Penicillium* e *Peyronelia* também têm sido isolados do mel. Um estudo desenvolvido na Nova Zelândia indica que, com um teor de umidade acima de 18 %, uma contagem de mais de 10 leveduras osmófilas por grama torna o mel consideravelmente mais suscetível à fermentação (Agriculture Institute, 2025; Gonçalves, 2017).

Todos esses fatores, a temperatura, umidade elevada e a presença de uma quantidade considerável de microrganismos, contribuem para que a fermentação ocorra. Geralmente, quando o mel está passando por esse processo de fermentação, ele adquire alguns aspectos (figura 1), como o desenvolvimento de bolhas de gás, devido ao CO₂, um sabor mais ácido e aroma avinagrado, quando há produção de ácido acético. Além de provocarem alterações na composição físico-química do mel (Embrapa, 2025; Gonçalves, 2017).

Figura 1 – Mel em processo de fermentação.



Fonte: Lingley Bros. Sweetcorn (2026).

2.2. ALTERAÇÕES DO MEL DE ABELHA NATIVA PROVOCADAS PELA FERMENTAÇÃO ESPONTÂNEA

O mel é um produto natural que apresenta características variáveis a depender da sua origem floral, do local onde é produzido, das condições climáticas, das espécies de abelhas, entre outros fatores. Portanto, existem diversos estudos comparativos entre o mel de abelha africanizada e o mel de abelha nativa produzidos em diferentes locais, tendo em vista que essas abelhas possuem hábitos diferentes que alteram as características do mel, bem como a alteração provocada pela comparação com regiões distintas. Além disso, como mencionado,

o mel está sujeito à fermentação e, nesse processo em que os microrganismos realizam transformações de açúcares em outros compostos, são provocadas alterações físicas, químicas e sensoriais, sobretudo de odor e sabor (Evangelista-Rodrigues, 2005; Gonçalves, 2017; Santos et. al., 2021). Assim, é importante a análise comparativa dos parâmetros que são responsáveis por iniciar o processo de fermentação e daqueles que vão ser alterados por essa transformação, como umidade, pH, acidez, concentração de açúcares, sólidos solúveis etc. Na tabela 1, é possível observar uma comparação entre o mel de abelha africanizada (*Apis Mellifera*), abelha nativa (*Melipona scutellaris*) e do mel de abelha nativa fermentado (*Melipona flavolineata*).

Tabela 1 – Parâmetros físico-químicos dos méis de *Apis* e de abelha nativa não fermentado e fermentado.

Parâmetros	Mel de <i>Apis Mellifera</i>	Mel de abelha nativa (<i>Melipona scutellaris</i>)	Mel fermentado de <i>Melipona flavolineata</i> (45 dias)
Umidade	Entre 18,06% e 18,76%	25,26%	25,28% a 33,90%
Acidez	4,61	4,66	3,48 a 1,53
pH	35 meq/kg	28,33 meq/kg	13,19 meq/kg a 52,11 meq/kg
Açúcares	95% a 99,9%	85% a 95%	74,31% a 64,99%

Fonte: Adaptado de Evangelista-Rodrigues (2005), Gonçalves (2017) e Santos et. al. (2021).

2.2.1. Umidade

A umidade é uma das características mais importantes que está diretamente relacionada à viscosidade, conservação e maturidade do mel. De acordo com a instrução normativa Nº 11 estabelecida pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o teor máximo de umidade permitido para méis de flores e de melado é de 20 %. No entanto, esta instrução foi estabelecida de acordo com a qualidade do mel de *Apis mellifera*, que apresenta maior viscosidade e costuma apresentar menos umidade que o mel de abelha nativa. Um estudo realizado por Evangelista-Rodrigues (2005) com méis do Brejo Paraibano e do Cariri Paraibano de *A. mellifera* e da abelha nativa, *Melipona scutellaris*, determinou que os méis de abelha africanizada se enquadram nos parâmetros de umidade estabelecidos pela instrução normativa com valores de 18,06 % e 18,76 %, enquanto o mel de abelha nativa do Brejo apresentou valores de 25,26 %. Outros estudos realizados por Santos et al. (2021) com méis de *Melipona seminigra merrillae* em Rio Branco, no Acre, encontraram valores de umidade bastante variáveis, sendo o maior valor de 21,42 %, acima do proposto pelo MAPA (Evangelista-Rodrigues, 2005; Gonçalves, 2017; Santos et. al., 2021).

Existem possíveis explicações para isso, que estão relacionadas ao comportamento das abelhas, uma delas seria que o néctar coletado que pode ter maior composição de água nas floradas coletadas por abelhas nativas. Outro fator é observado pelo modo de opercular o mel, no qual as abelhas africanizadas só operculam quando a umidade atinge o ponto de coleta, que varia de 17 a 18 %, já as abelhas nativas operculam o mel mesmo que haja elevado teor de umidade. Essa característica comportamental contribui para ativar a fermentação, pois tornam um meio mais propenso ao desenvolvimento de microrganismos fermentadores, sobretudo as leveduras osmofílicas. Em um estudo realizado por Gonçalves (2017) a umidade do mel de *Melipona flavolineata* variou em média entre 25,28 % a 33,90 % durante 45 dias de fermentação, o que demonstra um aumento na umidade como resultado da diminuição da quantidade de açúcares totais. Esse aumento da umidade favorece a proliferação de microrganismos, que podem contribuir para diminuição da vida útil do mel, sendo um processo normalmente indesejado para os méis *in natura*, mas de modo controlado pode ser positivo para a produção de bebidas (Evangelista-Rodrigues, 2005; Gonçalves, 2017; Santos et. al., 2021).

2.2.2. Acidez e pH

O pH é determinado pelos íons de hidrogênio em uma solução e no mel é determinado pela origem floral do néctar, pela concentração de ácidos, íons de cálcio, sódio, potássio e outros constituintes das cinzas, além dos componentes mandibulares que as abelhas acrescentam durante o transporte do mel. Normalmente, o pH dos méis se encontra abaixo de 4,5, que é desfavorável ao crescimento microbiano, sobretudo de microrganismos patogênicos. Para os méis brasileiros de *Apis mellifera*, o pH varia entre 3,95 e 4,09, já para os méis de melíponas, varia entre 3,39 a 4,63. No estudo realizado por Evangelista-Rodrigues (2005), o mel produzido por abelhas nativas obteve um pH semelhante ao de abelhas africanizadas, sendo o de *Melipona scutellaris* correspondente a 4,66 e o de *Apis* foi de 4,61 na mesma região. Já a pesquisa realizada por Gonçalves (2017), que apresenta a variação dos valores pós fermentação, foi perceptível a diminuição do valor do pH ao longo do processo, que passou de 3,48 em 7 dias de fermentação e para o menor valor de 1,53, após 45 dias. Como mencionado, isso contribui para uma diminuição na capacidade de desenvolvimento microbiano, mas algumas leveduras e bactérias são capazes de se multiplicar em meios muito ácidos (Evangelista-Rodrigues, 2005; Gonçalves, 2017).

A acidez é um aspecto que é determinado pela hidrólise de glicolactonas, a forma estabilizada do ácido glicônico, o principal encontrado no mel. Esse aspecto afeta a viscosidade do mel, sua estabilidade, inibe a ação de microrganismos e realça o sabor. De acordo com o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do Mel (Instrução Normativa Nº 11 do MAPA), o mel de abelha não deve ultrapassar um valor de 40 miliequivalentes de acidez/kg de mel. No estudo comparativo, o mel de abelha nativa obteve acidez média de 28,33 meq/kg, enquanto o mel de abelha africanizada produzido na mesma região apresentou 35 meq/kg de acidez, sendo o mel de abelha nativa com sabor mais palatável nesta região. Durante o processo fermentativo, ocorreu um aumento na acidez, que no tempo de 7 dias era 13,19 meq/kg e passou a ser 52,11 meq/kg no tempo de 45 dias, isso pode ser causado por diversos fatores e um deles é o aumento da umidade que potencializa a ação da glicose-oxidase, aumentando os teores de ácido. Outro fator é a ação de bactérias que, ao degradar carboidratos, promovem a ação de ácidos (Evangelista-Rodrigues, 2005; Gonçalves, 2017).

2.2.3. Açúcares

O açúcar é o principal componente do mel, presente em 95% a 99,9% da matéria seca de méis de *Apis*. No caso das abelhas nativas, o teor de açúcares é menor, mas ainda é elevado e corresponde a cerca de 85 % a 95 %, sendo composto por açúcares redutores, principalmente frutose e glicose, e não-redutores, como a sacarose. Alguns estudos demonstram que no Nordeste, os méis de meliponíneos apresentam cerca de 57,9 % a 95,6 % de açúcares totais, já na região amazônica, os valores médios foram de 60,2 % a 61,7 % (Agriculture Institute, 2025, Gonçalves, 2017).

No estudo de Santos et al. (2021) com mel de *M. seminigra merrillae*, foram obtidos valores de 59,97 % a 70,90 % para os açúcares redutores, que agem na viscosidade, cristalização, acidez, aroma e doçura. Geralmente, as proporções de açúcares variam de acordo com a fonte floral do néctar, pois méis produzidos com néctar de plantas da família das acácias tende a ter maior teor de frutose, enquanto o mel produzido com néctar da família das brassicáceas costuma ter mais glicose. A frutose é o principal açúcar que contribui para a doçura do mel e a glicose contribui principalmente para a cristalização e essa precipitação de glicose favorece o aumento no teor de umidade, permitindo o crescimento de leveduras osmofílicas, favorecendo a fermentação, que diminui a concentração de açúcares do mel, pois são convertidos em outros produtos (Agriculture Institute, 2025; Santos et. al., 2021).

Além dos açúcares principais, há também mais de 25 outros tipos de açúcares mais complexos e mais difíceis de serem digeridos, presentes em pequenas quantidades, como a sacarose, a maltose, isomaltose, turanose, maltotriose etc. Normalmente, são resultados da atividade enzimática ou de transglicosilação nos processos de maturação do mel e alguns deles são importantes prebióticos que contribuem para o crescimento de bactérias benéficas (Agriculture Institute, 2025).

2.2.4. Sólidos solúveis

Os sólidos solúveis são os compostos que se encontram dissolvidos na água de um alimento e no mel englobam os açúcares e os ácidos, por isso os valores são altos. Em méis de abelhas nativas mandaçaia e tiúba, o teor de sólidos solúveis encontrados por Sousa et al. (2010) foi de 66 °Brix e 61 °Brix, respectivamente. Após o processo fermentativo, Gonçalves (2017) descobriu que os teores de sólidos solúveis oscilaram, sendo 64,20 % o menor e 73,20 % o maior, indicando que mesmo com a diminuição do teor de açúcares, o valor aumentou. O aumento do teor de compostos fenólicos pode contribuir para o acréscimo dos sólidos solúveis. Entretanto, esse fator isoladamente não explica variações expressivas de °Brix, sendo necessário considerar também alterações no teor de água e a formação de outros compostos solúveis durante o processo. (Gonçalves, 2017; Santos et al., 2021; Sousa, 2010).

2.3. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA FERMENTAÇÃO ESPONTÂNEA DO MEL DE ABELHA SEM FERRÃO

A fermentação do mel segue um processo relativamente simples de transformação de açúcares simples em etanol, dióxido de carbono e outros subprodutos. Esse etanol produzido é oxidado ao longo do processo de fermentação, transformando-se em ácido acético, tornando o mel cada vez mais ácido e conferindo o sabor azedo, semelhante ao do vinagre, sendo considerado cada vez menos palatável. Portanto, a fermentação do mel é um processo totalmente indesejado pelos produtores, pois representaria um maior custo para o reprocessamento desse mel ou a perda de lotes desse produto. No entanto, existem ações para evitar que a fermentação ocorra e normalmente são mais baratas que os custos de reprocessamento. A primeira delas está ligada à colheita, na qual é necessária a utilização de roupas e equipamentos higienizados, não pode ser realizada em dias chuvosos ou úmidos, também é recomendada a retirada do mel em favos que estejam pelo menos 75 % operculados, pois é uma indicação das próprias abelhas que teor de umidade está adequado,

sendo recomendado o uso de refratômetro para que sejam colhidos méis com umidade inferior à 18 % (para os méis de *Apis*). Além disso, a melgueira coletada não deve ser colocada no chão, pois aumentam as chances de contaminação por microrganismos (Agriculture Institute, 2025, Embrapa, 2025).

Além dos cuidados com a colheita, o processo de armazenamento também exige técnicas importantes, como o controle da temperatura, pois quando armazenado em temperaturas abaixo de 10 °C, interrompe a atividade das leveduras. A Food Agriculture Organization (FAO) recomenda o armazenamento em temperaturas abaixo de 5 °C, que seria a única forma de impedir a cristalização, o derretimento e a fermentação. Também há a possibilidade de realização da pasteurização que eliminaria os microrganismos, caso o mel seja aquecido à 52 °C por 8 horas, 63 °C por 30 minutos ou 71 °C por 1 minuto, porém a FAO indica que esse processo pode alterar a cor do mel e destruir algumas de suas enzimas benéficas. Após esse processo, o mel deve ser engarrafado em recipientes higienizados e herméticos para que não absorva a umidade do ar e nem receba contaminantes microbianos (Agriculture Institute, 2025; Embrapa, 2025).

Apesar do sabor desagradável, em tese o mel fermentado não é perigoso para o consumo humano e esse processo constitui uma estratégia das próprias abelhas. Estudos de Tordini (2021) indicam que as abelhas nativas apresentam uma relação de quase dependência com os microrganismos fermentadores, pois eles ajudam as abelhas a digerir os grãos de pólen, produzem substâncias nutritivas e até mesmo antibióticas, e a fermentação auxilia na conservação dos alimentos das abelhas ao modificar suas características, dificultando o processo de contaminação por patógenos e ao produzir outros nutrientes. Assim como as abelhas, os seres humanos podem se beneficiar desse processo ao utilizar o mel fermentado para a produção de diversas bebidas, como o hidromel, que é um vinho de mel, o enturire, bebida de Uganda produzida a partir da fermentação de sorgo e mel, o vinagre de mel, ao transformar o álcool em ácido acético, entre outras bebidas variadas que ajudam a expandir a utilização do mel fermentado e seus benefícios nutricionais (Agriculture Institute, 2025; Mukisa, 2017; Tordini, 2021).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fermentação espontânea do mel é um processo desejável pelas abelhas para auxiliar na sua nutrição e proteção contra patógenos e pode acontecer com todos os méis, sobretudo

os de abelhas nativas, tendo em vista suas características de umidade elevada e a constatação da presença de uma diversidade de leveduras fermentadoras nas sociedades das abelhas nativas. No entanto, mesmo com as vantagens apresentadas pela fermentação para as abelhas e com os nutrientes produzidos durante esse processo, as alterações físico-químicas de aumento da umidade, redução do pH e dos açúcares, e, principalmente, as alterações sensoriais no aroma e no sabor tornam esse processo indesejado.

Diante disso, nota-se que são necessários mais estudos para o desenvolvimento de bebidas que aproveitem a vantagem nutritiva do mel fermentado, contribuindo para os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável - ODS 3 (saúde e bem-estar) ao incentivar a exploração das características benéficas apresentadas por esse processamento, e que representem uma nova funcionalidade para que este não seja descartado, trazendo prejuízos aos produtores, fortalecendo os ODS 2 (fome zero e agricultura sustentável) e 12 (consumo e produção responsáveis), pois contribui para a segurança alimentar, reduz o desperdício e incentiva o uso sustentável deste recurso natural.

REFERÊNCIAS

- AGRICULTURE INSTITUTE. Understanding Honey Fermentation and Prevention. 2025. Disponível em: https://agriculture.institute/hive-products-beekeeping-economics/understanding-honey-fermentation-prevention/#google_vignette. Acesso em: 22 abr. 2026.
- CAMARGO, Ricardo Costa Rodrigues de et al. Mel: Características e Propriedades. Teresina: Embrapa, 2006. 30 p. Disponível em: https://hbjunior19.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/08/doc_150.pdf. Acesso em: 22 abr. 2026.
- FERES, J. M. et al. Análise química de méis de abelhas sem ferrão nativas do Brasil e suas bebidas fermentadas. Química Nova, 2025. Disponível em: https://quimicanova.sbq.org.br/audiencia_pdf.asp?aid2=9980&nomeArquivo=AR2025-0151.pdf. Acesso em: 22 abr. 2026.
- FERMENTAÇÃO DO MEL. YouTube, publicado por Embrapa, vídeo “Fermentação do mel”, 2025. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=QPLy0rud0x0>. Acesso em: 22 abr. 2026.
- EVANGELISTA-RODRIGUES, A.; SILVA, E. M. S.; BEZERRA, E. M. F.; RODRIGUES, M. L. Análise físico-química dos méis das abelhas *Apis mellifera* e *Melipona scutellaris* produzidos em regiões distintas no Estado da Paraíba. Ciência Rural, Santa Maria, v. 35, p. 1166-1171, set-out. 2005. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/cr/a/3SsWKNQpcGDFW6V3v37ZRNG/?lang=pt>. Acesso em: 22 abr. 2026.

GONÇALVES, Kamila Dias. Efeitos da fermentação natural sobre os parâmetros físico-químicos do mel de abelha sem ferrão *Melipona flavolineata* (uruçu – amarela) do estado do Pará. 2017. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Química Industrial, Universidade Federal do Pará, Belém, 2017. Disponível em: <https://bdm.ufpa.br/server/api/core/bitstreams/845509e3-d430-4213-b7f8-e7a614a435bd/content>. Acesso em: 22 abr. 2026.

LINGLEY BROS. SWEETCORN (Estados Unidos). T. Bee's Honey. 2026. Disponível em: <https://lbscorn.com/index.php/products/honey>. Acesso em: 22 abr. 2026.

MÔNICA CAMEZ TRICHES DAMASO (Brasil). Embrapa. Fermentação. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/tecnologia-de-alimentos/processos/tipos-de-processos/fermentacao>. Acesso em: 20 mar. 2026.

MUKISA, I. M.; NTAATE, D.; BYAKIKA, S. Application of starter cultures in the production of Enturire – a traditional sorghum-based alcoholic beverage. Food Science & Nutrition, 2017. v. 5, n. 3, p. 609–616.

SANTOS, Flávia Catrine Feitosa dos; ANGULO, Esperanza Lucila Hernandez; SANTOS, Manoel Ezimar Castro dos. Caracterização físico-química de amostras do mel de abelhas nativas. Scientia Naturalis, Rio Branco, v. 3, n. 5, p. 2366-2382, 30 dez. 2021. Disponível em: <https://share.google/FIZhLXSwgqmA1FGyr>. Acesso em: 22 abr. 2026.

SOUSA, J.M.B.; AQUINO, I.S.; SANTOS, J.G. Análise Bromatológica de amostras de mel de abelha tiúba (*Melipona compressipes* fasciculada Smith) da microrregião do Seridó do Rio Grande do Norte. In: Congresso Brasileiro de Apicultura e Congresso Brasileiro de Meliponicultura, 18., 4., 2010, Cuiabá- MT, Cuiabá-MT, 2010.

SOUZA, Frederico Ozanam de; ALCICI, Nivia Macedo Freire. Mel & Outros Produtos da Colmeia. Revisão de Cássia Eponine, José Vitor Camilo e Paula Machado. Governador do Estado de Minas Gerais; Vice-Governador do Estado de Minas Gerais; Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Minas Gerais, 2021. Disponível em: https://www.agenciaminas.mg.gov.br/ckeditor_assets/attachments/12713/cartilha_mel-a.pdf. Acesso em: 22 abr. 2026.

TORDINI, C. Abelhas sem ferrão usam microrganismos para preservar o mel e muito mais. Embrapa, 21 jun. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/63051018/abelhas-sem-ferrao-usam-microrganismos-para-preservar-o-mel-e-muito-mais>. Acesso em: 22 abr. 2026.

VIARD, Éric. Mel e azeitonas: dois alimentos fermentados a descobrir. Biovie, 2026. Disponível em: <https://www.biovie.fr/pt/blog/mel-e-azeitonas-dois-alimentos-fermentados-a-descobrir-n707>. Acesso em: 22 abr. 2026.

CAPÍTULO IX

TIQUIRA: A FERMENTAÇÃO COMO TECNOLOGIA CULTURAL E PATRIMÔNIO ALIMENTAR NO MARANHÃO

TIQUIRA: FERMENTATION AS A CULTURAL TECHNOLOGY AND FOOD HERITAGE IN MARANHÃO

DOI: 10.51859/ampla.iab6164-9

Taynara Borges Ferreira¹

Walter de Paula Pinto Neto²

Thayza Christina Montenegro Stamford³

Neide Kazue Sakugawa Shinohara⁴

¹ Graduanda no curso de Bacharelado Gastronomia. Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE.

² Doutor em Ciências Biológicas. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

³ Professora do Departamento de Medicina Tropical. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

⁴ Professora do Departamento de Tecnologia Rural. Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE

RESUMO

Este capítulo analisa a tiquira, aguardente de mandioca de origem indígena consolidada no estado do Maranhão, sob a perspectiva de sua dupla dimensão como processo fermentativo e patrimônio cultural imaterial. O objetivo principal é discutir como o método ancestral de sacarificação fúngica atua como uma tecnologia cultural que ancora a identidade regional, face aos desafios mercadológicos e sanitários contemporâneos. A metodologia consiste em uma revisão bibliográfica de caráter qualitativo e exploratório, fundamentada na antropologia da alimentação, biotecnologia e marcos legais, como o reconhecimento da bebida enquanto Patrimônio Cultural Imaterial (Lei Estadual nº 12.012/2023). São discutidos os aspectos microbiológicos e tecnológicos envolvidos em sua produção, evidenciando a complexidade dos sistemas fermentativos tradicionais. Em seguida, a tiquira é abordada como expressão de identidade territorial, destacando sua inserção em práticas socioculturais, sua transmissão intergeracional e os processos de patrimonialização. O estudo também problematiza as tensões contemporâneas entre tradição e mercado, incluindo iniciativas de industrialização, estigmatização histórica e disputas simbólicas em torno de sua legitimação. Conclui-se que a salvaguarda deste patrimônio exige mais do que a adequação laboratorial de seu fluxograma, demanda políticas públicas focadas em inovação participativa e instrumentos de proteção, como a Indicação Geográfica (IG), garantindo que a bioeconomia sirva ao território e aos sujeitos que mantêm a tradição viva.

Palavras-chave: Bioeconomia. Fermentação. Identidade territorial. Patrimônio alimentar.

ABSTRACT

This chapter analyzes tiquira, a cassava-based spirit of indigenous origin established in the state of Maranhão, from the perspective of its dual dimension as a fermentation process and intangible cultural heritage. The main objective is to discuss how the ancestral method of fungal saccharification acts as a cultural technology that anchors regional identity, in the face of contemporary market and health challenges. The methodology consists of a qualitative and exploratory literature review, grounded in the anthropology of food, biotechnology, and legal frameworks, such as the recognition of the beverage as Intangible Cultural Heritage (State Law No. 12.012/2023). The microbiological and technological aspects involved in its production are discussed, highlighting the complexity of traditional fermentation systems. Subsequently, tiquira is addressed as an expression of territorial identity, emphasizing its insertion in sociocultural practices, its intergenerational transmission, and the processes of heritage recognition. The study also addresses contemporary tensions between tradition and the market, including industrialization initiatives, historical stigmatization, and symbolic disputes surrounding its valuation. It concludes that safeguarding this heritage requires more than the laboratory adaptation of its flowchart. It demands public policies focused on participatory innovation and protection instruments, such as Geographical Indication (GI), ensuring that the bioeconomy serves the territory and the people who keep the tradition alive.

Keywords: Bioeconomy. Fermentation. Food heritage. Territorial identity.



1. INTRODUÇÃO

Bebidas fermentadas e destiladas fazem parte da cultura e dieta de diversos povos ao longo da história, servindo não apenas como artefatos de consumo, mas como vetores de identidade social. No Brasil, o uso da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) como matriz fermentativa remonta aos povos originários da bacia amazônica. A partir de processos de apropriação e hibridismo cultural ocorridos durante a colonização, métodos ancestrais de produção de bebidas, como o caxiri, evoluíram e se adaptaram, resultando na tiquira, um destilado singular de elevado teor alcoólico que encontrou no estado do Maranhão seu principal território de fixação e desenvolvimento sociocultural.

Apesar de sua relevância histórica e cultural, a tiquira foi, por longo período, marginalizada no cenário nacional, sendo frequentemente associada a circuitos produtivos informais e a contextos de menor prestígio social. Recentemente, houve um processo de institucionalização, sendo declarada Patrimônio Cultural Imaterial do Maranhão em 2023, simultaneamente observa-se um movimento de ressignificação desse produto, impulsionado tanto pelo reconhecimento como patrimônio cultural imaterial quanto por iniciativas de inserção em mercados de maior valor agregado. Esse processo evidencia a necessidade de compreender a tiquira para além de sua dimensão técnica, incorporando aspectos socioculturais, econômicos e territoriais.

Portanto, justifica-se a realização deste estudo pela importância de analisar a tiquira como um sistema integrado, no qual fermentação, cultura e identidade territorial se articulam. Além disso, a crescente exploração de produtos tradicionais no âmbito da bioeconomia reforça a necessidade de discutir estratégias que promovam o desenvolvimento econômico sem comprometer os saberes e práticas locais.

O objetivo geral deste capítulo é analisar a produção da tiquira como um sistema biocultural que integra tecnologia fermentativa tradicional e patrimônio imaterial. Para alcançá-lo, estabelecem-se os seguintes objetivos específicos: a) descrever os processos de sacarificação e fermentação, contrastando a técnica artesanal com as exigências de padronização atuais; b) analisar o impacto do reconhecimento legal da bebida e as tensões entre a produção comunitária e a industrialização exógena; c) apontar ferramentas, como a Indicação Geográfica (IG), a valorização de pequenos produtores, capazes de mitigar a apropriação cultural indevida.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. SISTEMA FERMENTATIVO TRADICIONAL

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) pertence à família botânica das Euforbiáceas. Trata-se de uma raiz tuberosa com teor elevado de amido, originária da América do Sul, sobretudo no Brasil. Difundida a centenas de anos e principal alimento consumido pelos povos ameríndios, principalmente na região amazônica, possui uma extensa variedade de preparos na forma de alimentos e bebidas.

Por ser uma espécie de fácil adaptação a variação climática, se adaptou bem em todos os estados brasileiros, sendo o país líder na produção mundial até 1991 e na última década oscila entre a terceira e quarta posição, com produção de 23,24 milhões de toneladas, cerca de 9% da produção mundial, segundo levantamento da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) (CONAB, 2017).

Existem dois grupos para definição da raiz e isto determina o manejo tecnológico necessário. A mandioca brava ou amarga é um produto com teor superior a 100mg/kg de ácido cianídrico (HCN), composto altamente tóxico que é liberado quando a raiz é cortada ou ralada e, se mal processado, pode causar náuseas, vômitos e envenenamento cianídrico, de modo que, demanda um processo de cocção mais lento. Já a mandioca doce, conhecida também como macaxeira ou aipim, possui teor inferior a 50 mg/kg de glicosídeos cianogênicos, tornando-se seguras para consumo após submetidas a altas temperaturas (MOREIRA, 2025).

O amido é o carboidrato presente em maior abundância na mandioca em detrimento das proteínas, fibras e minerais, e a partir de seu processamento obtém-se produtos como farinha, goma, polvilho, tapioca, tucupi e bebidas diversas dentre *caxiri*, paiauaru e o objeto deste capítulo: a tiquira. No sistema tradicional de produção da tiquira, sobretudo, a cocção em altas temperaturas nos fornos de farinha, atuam como mecanismos de segurança química, tornando o substrato apto para a fermentação alcoólica.

Diferente de outros fermentados que utilizam a hidrólise salivar (ptialina) ou maltagem, a tiquira fundamenta-se na sacarificação fúngica. O amido, carboidrato predominante na raiz, não é fermentescível diretamente pelas leveduras e demanda uma quebra prévia em açúcares simples (SCHWAN et al., 2016).

A tiquira possui uma relação ancestral com o *caxiri*, fermentado de baixo teor alcoólico, obtido a partir da ação de microrganismos selvagens com atividade amilolítica. Enquanto este é classificado tecnicamente como uma bebida fermentada, com graduação alcoólica de 10 a 11 °GL conforme o Decreto N. 6.871, de 4 de junho de 2009 (BRASIL, 2009), a tiquira passou para o status de aguardente destilada, exigindo padrões de identidade e qualidade específicos.

Trata-se de uma aguardente feita de mandioca com menos difusão e conhecimento em detrimento de outros derivados da raiz, atualmente é produzida majoritariamente no Estado do Maranhão, entretanto, possui referências que direcionam sua origem de produção e consumo para os povos indígenas no Pará e Amazonas, sendo o consumo abundante em cerimônias e rituais religiosos. No tocante a tecnologia de produção, as técnicas elevam a tiquira para além de apenas uma bebida, trata-se de um complexo conhecimento fermentativo tradicional que perpassa gerações, regiões brasileiras e se constitui enquanto herança sociocultural no Maranhão.

O núcleo tecnológico da produção reside na manipulação dos beijus. Após serem tostados para redução da umidade a níveis próximos de 35 %, os beijus são submetidos a uma cobertura de folhas de bananeira ou maniçoba. O procedimento não é meramente ritualístico; refere-se a um método de inoculação natural, facilitando a proliferação de fungos autóctones como *Aspergillus sp.* e *Monilia sitophila* (CEREDA, 2016; LIMA, T. T. M. et al., 2022). Estes fungos secretam amilases que convertem o amido em açúcares fermentescíveis, um processo essencialmente biotecnológico conduzido por saber empírico.

Após alguns dias, ao desfazer a cobertura, notava-se que os beijus estavam úmidos e gotejavam um líquido amarelado e cristalino na extremidade do alambique. Daí o surgimento da palavra, em sua etimologia do tupi *ti-kyra* ou *tykir*, que representa cair a gota ou líquido que goteja (LIMA, T. T. M. et al., 2022; REIS, 2025). O produto obtido evolui de uma consistência cremosa, sendo esta o *caxiri*, para o mosto que, após a destilação, atinge o perfil sensorial característico da tiquira.

Atualmente, o desafio imposto pela bioeconomia reside na transição da fermentação espontânea para a fermentação dirigida. A integração de novas tecnologias para o isolamento de microrganismos nativos e o controle laboratorial dos compostos voláteis permite aumentar o rendimento e a segurança sanitária do produto. Tal avanço, se alinhado à ética dos conhecimentos tradicionais, converte-se em inovação participativa, agregando valor ao

patrimônio maranhense e garantindo a perenidade do sistema produtivo frente às exigências do mercado contemporâneo (BRASIL, 2026).

A produção contemporânea da tiquira, embora enraizada na tradição, possui seguimento em um fluxograma operacional que visa a padronização física e química do destilado. Conforme abordado anteriormente, no processo tradicional existia a prensagem para confecção dos beijus seguida pela sacarificação feita por bolores e fermentação por leveduras, ambos da flora autóctone. Segundo Cereda e Brito (2016), no processo tecnológico moderno os bolores são alterados por enzimas comerciais. A partir destes dados, seguem as etapas que deveriam ser executadas para a produção industrial, estruturadas da seguinte forma:

Seleção e preparo da matéria-prima¹: Foco preferencial na mandioca amarga devido ao seu alto rendimento em amido. Após a colheita, as raízes passam por lavagem e descascamento, que podem ser feitos de forma mecânica, seguindo para a ralação, processo que irá romper os tecidos vegetais e auxiliar na liberação dos grânulos de amido.

- **Gelatinização/Gomificação:** A massa resultante é submetida à cocção em temperatura superior a 60 °C, etapa onde o grânulo perde a cristalinidade, as cadeias em espiral se esticam e sua estrutura se abre, o que irá facilitar a ação das enzimas.

- **Sacarificação (Hidrólise):** Nos modelos de inovação tecnológica, a sacarificação espontânea do beiju pode ser substituída ou complementada pela adição de enzimas amilolíticas comerciais, como amilase e glicoamilase. O ajuste permite maior velocidade de quebra das cadeias de amido em açúcares fermentescíveis (glicose), reduzindo o tempo de processo.

- **Fermentação alcoólica:** no processo tradicional, ocorre por leveduras autóctones, no moderno com leveduras comerciais na forma prensada ou seca, estas assumem o protagonismo, convertendo os açúcares em etanol, dióxido de carbono e uma miríade de compostos aromáticos.

¹ Para descritivo completo acerca de todas as etapas e componentes que compõem a bebida, sugerem-se as leituras: RIBEIRO, Diogo Marcelo Lima. **Caracterização e comportamento sacarificante da flora microbiana empregada na fabricação da aguardente de mandioca (tiquira)**. 2017. 67 f. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2017. Disponível em: <https://tedebc.ufma.br/jspui/handle/tede/919>. Acesso em: 26 abr. 2026. e VIRGÍLIO, Adriana Escórcio. **O uso da Manipueira na produção de aguardente de mandioca (tiquira)**: revisão de literatura. 2024. 81 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2024. Disponível em: <https://monografias.ufma.br/jspui/handle/123456789/8721>. Acesso em: 20 abr. 2026.

- **Destilação:** É recomendado que o mosto seja transferido para destiladores alambiques de aço inoxidável, tradicionalmente o processo era em alambiques de cerâmica ou cobre, de modo que, a presença do cobre na destilação segue importante, pois melhora o aroma do destilado. O uso de um alcoômetro é necessário para estabelecer o teor alcoólico do destilado e o final do processo de destilação.

- **Engarrafamento:** Preferencialmente em garrafas de vidro, em geral, transparentes. Entretanto, é comum que os pequenos produtores utilizem garrafas de politereftalato de etileno (PET).

- **Acabamento:** É um destilado naturalmente incolor, mas historicamente adiciona-se folhas de tangerina, o que irá conferir a coloração lilás e/ou azulada característica, o que a diferencia da coloração da cachaça não maturada.

Este encadeamento de etapas constata que a tiquira não é um subproduto acidental, mas o resultado da organização dos processos em um modelo de bioeconomia territorial. A integração, descrita por Cereda e Brito (2016), revela que a inovação na produção atual não reside na substituição dessas etapas, mas no seu aprimoramento analítico. O uso de termômetros, densímetros e a higienização rigorosa dos alambiques são ferramentas contemporâneas que protegem o patrimônio imaterial da descaracterização por falhas sanitárias.

2.2. TIQUIRA COMO PATRIMÔNIO ALIMENTAR E IDENTIDADE

Inicialmente conhecido enquanto “fato cultural” nos anos 1930, em ocasião da criação do Serviço do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Sphan), atual Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), as referências ao patrimônio imaterial enquanto parte constituinte do patrimônio cultural brasileiro, perpassa décadas até seu reconhecimento oficial, através do Decreto Nº 3.551, em 4 de agosto de 2000, em que incluiu o Registro de Bens Culturais de Natureza Imaterial e o Programa Nacional do Patrimônio Imaterial. São quatro livros de tombo, sendo o objeto de estudo deste trabalho um elemento do Livro de Registro dos Saberes, onde são inscritos conhecimentos e modos de fazer enraizados no cotidiano das comunidades (BRASIL, 2000; SOUZA, 2021).

De acordo com a UNESCO (2003) a definição de patrimônio cultural imaterial pode ser compreendida como:

as práticas, representações, expressões, conhecimentos e técnicas – junto com os instrumentos, objetos, artefatos e lugares culturais que lhes são associados – que as comunidades, os grupos, e, em alguns casos, os indivíduos reconhecem como parte integrante de seu patrimônio cultural. [...] se transmite de geração em geração, é constantemente recriado pelas comunidades e grupos em função de seu ambiente, de sua interação com a natureza e de sua história, gerando um sentimento de identidade e continuidade e contribuindo assim para promover o respeito à diversidade cultural e à criatividade humana.

Tal designação, que intencionalmente vai além da relevância material e palpável, é de suma importância para compreender os aspectos da cultura popular, que se fixam enquanto legado às futuras gerações, criam identidades, sentimento de pertencimento e continuidade. Deste modo, o alimento deixa de ser entendido unicamente como objeto de consumo e passa a ser interpretado como um vetor de identidade, memória e organização social.

Nesse sentido, é necessário ampliar o olhar além da bebida para compreender o conjunto de saberes, significados e a subjetividade dos sujeitos que a produzem, o IPHAN (s.d) reforça essa perspectiva ao reconhecer saberes e modos de fazer como elementos centrais na constituição do patrimônio, destacando a inseparabilidade entre práticas culturais e os grupos sociais que as mantêm.

A recente institucionalização da tiquira como patrimônio cultural imaterial do Maranhão, formalizada em setembro/2023, representa um ponto de inflexão importante nesse processo. Tal reconhecimento desloca a bebida de uma posição historicamente marginalizada para um novo enquadramento simbólico, no qual passa a ser valorizada como expressão legítima da cultura local. Essa mudança pode ser interpretada a partir de contribuições de Massimo Montanari (2008), que argumenta que os alimentos são construções culturais sujeitas a processos de ressignificação ao longo do tempo. A patrimonialização, atua, deste modo, enquanto mecanismo de legitimação que transforma percepções sociais e redefine o valor simbólico do produto.

A tiquira é uma bebida destilada que representa culturalmente diversos municípios e povoados no estado do Maranhão. Possui dois modos de produção, artesanal e industrial, com produção estimada de 640 mil litros/ano, predominante em nove municípios dos Lençóis Maranhenses e Baixo Parnaíba Maranhense, a saber: Água Doce do Maranhão, Barreirinhas, Paulino Neves, Santana do Maranhão, Santo Amaro, Santa Quitéria do Maranhão, São Bernardo do Maranhão, Tutóia e Urbano Santos (COELHO, 2015; NASCIMENTO et al., 2023)

com comercialização nos grandes centros urbanos, em especial as feiras tradicionais da capital, São Luís.

Estes espaços de comercialização não operam apenas como pontos de venda, mas como ambientes de reprodução cultural, nos quais as práticas, narrativas e relações sociais são constantemente atualizadas. A presença recorrente de famílias que, ao longo de gerações, mantêm a atividade de venda da bebida indica que a tiquira não se restringe a uma lógica mercantil, mas engloba um circuito simbólico mais amplo, onde pertencimento e tradição desempenham papel relevante (MENDES, 2018). Com isso, o alimento atua como marcador de identidade territorial, reforçando vínculos entre produto, lugar e comunidade.

No contexto das áreas rurais do Maranhão, a produção da tiquira assume um papel ainda mais estruturante na medida em que se insere nas estratégias de reprodução social de famílias de tiquireiros (REIS, 2025), articulando subsistência econômica, organização do trabalho em âmbito doméstico ou comunitário e conhecimento através da transmissão de saberes, que são plurais, conforme afirma Luís Carlos Reis (2025, p. 35),

[...] ocorrem de diversas formas como, por exemplo, através das histórias, das práticas diárias, ensinamentos informais e rituais. Nessas comunidades os conhecimentos são passados desde a infância e com ele as crianças aprendem com os mais velhos sobre os costumes locais e o modo de vida que caracteriza a comunidade onde vivem.

Diferentemente dos espaços urbanos de comercialização, nos quais a bebida circula como mercadoria, no interior ela se constitui como prática cotidiana, integrada ao modo de vida local e às dinâmicas familiares, além de reforçar a continuidade de conhecimentos empíricos associados ao cultivo da mandioca, fermentação, destilação e formas diversas de consumo e elaboração de receitas. Assim, a tiquira não pode ser compreendida apenas como um produto, mas como um suporte material de memórias coletivas, na medida em que práticas, gestos e técnicas são reiterados ao longo do tempo.

Esta dimensão é evidenciada igualmente em relatos dos próprios produtores locais, ainda na pesquisa de Luís Carlos Reis, que associam a atividade não apenas à subsistência, mas a experiências coletivas e afetivas: “[...]essa produção artesanal como você diz é muito importante aqui para a comunidade, hoje tem menos, mas antigamente muita gente vivia disso. Na época de festejo era uma alegria, vinha gente de fora beber direto do alambique.” (2025, p. 36)

Como aponta Pierre Nora (2012, p. 9), “a memória emerge de um grupo que ela une [...] se enraíza no concreto, no espaço, no gesto, na imagem, no objeto”, o que permite interpretar a produção da tiquira como um lócus privilegiado de materialização dessas memórias no contexto rural maranhense.

Entretanto, esse valor não ocorre de maneira homogênea nem isenta de tensões. Historicamente, a tiquira foi posicionada em uma hierarquia simbólica inferior em relação a outras bebidas destiladas como a aguardente de cana de açúcar ou cachaça, ainda que a tiquira seja, do mesmo modo, uma bebida destilada de forte teor alcoólico, que passa pelo mesmo processo (MENDES, 2018). Essa percepção evidencia que os alimentos não são apenas classificados por suas características sensoriais ou técnicas, mas também por critérios sociais e culturais.

Além das dimensões simbólicas, sua produção também está inserida em um contexto marcado por desafios estruturais. A predominância de processos artesanais, frequentemente realizados em condições informais, com longas jornadas de exposição ao sol e suas consequências, as baixas remunerações que desestimulam os produtores, levando-os a buscar melhores oportunidades socioeconômicas em grandes centros urbanos (REIS, 2025, p. 34).

Ao mesmo tempo, observa-se o surgimento de iniciativas externas que buscam industrializar e reposicionar a produção da tiquira, inserindo-a em mercados de valor comercial considerado superior, como a região do Sudeste brasileiro (RODRIGUES, 2018; GUAAJA, 2026). É um movimento que pode dialogar com tendências contemporâneas de ressignificação de produtos contemporâneos e/ou valor tardio de alimentos e bebidas historicamente marginalizados. Entretanto, trata-se de um reposicionamento que, sem considerar toda a identidade sociocultural que carrega, pode resultar em descaracterização de elementos históricos que compõem a identidade territorial de uma comunidade e/ou população.

Através do registro da tiquira junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Superintendência Federal de Agricultura, Pecuária e Abastecimento no Estado do Maranhão (MAPA/SAF), são três as marcas registradas, de acordo com o registro Timbotiba, Guaaja e Guaribas. Destas, apenas a tiquira Guaribas utiliza o método tradicional de produção, que utiliza a etapa de gelificação dos beijos de mandioca nos fornos de barro. Os outros produtores fizeram adaptações, utilizando fécula de mandioca e enzimas comerciais (NASCIMENTO, 2023).

Ademais, em conformidade com o estudo de Rodrigues, Ribeiro e Raposo (2018) a estratégia de reposicionamento da marca Guaaja tem o foco em públicos de maior poder aquisitivo, com tentativa de direcionamento às classes A e B, o que “construiu um hiato entre as pessoas do lugar e a marca”, pois a população local pouco conhecia a marca, que ganhou destaque na exportação, sobretudo do Rio de Janeiro e São Paulo.

A construção de valor da tiquira, deste modo, não pode ser compreendida apenas como estratégia de mercado que incorpora referências culturais e agrega valor simbólico, pois sem a devida inserção nas dinâmicas sociais do território, tende a produzir um reconhecimento pouco sustentável e superficial, conforme aponta Rodrigues et al. (2018). É importante existir um comprometimento e manutenção efetiva com o território, as práticas e as comunidades que historicamente estruturam e legitimam sua produção.

Dessa forma, a recente legitimação institucional da tiquira enquanto patrimônio cultural imaterial não elimina automaticamente os estigmas historicamente associados ao seu consumo, mas inaugura um campo de disputas simbólicas em torno de sua identidade. A tentativa de reposicionamento como produto premium convive, portanto, com percepções sociais ainda marcadas por sua associação a circuitos populares e informais, revelando que o valor institucional e mercadológico não é suficiente, por si só, para reconfigurar imaginários sociais consolidados.

Essa tensão entre tradição e mercado pode ser analisada à luz do conceito de bioeconomia, conforme estabelecido pelo Decreto Nº 12.044, de 5 de junho de 2024, que orienta a incorporação de recursos biológicos e conhecimentos tradicionais em cadeias produtivas voltadas à inovação e ao desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2026). Nesse enquadramento, a tiquira emerge como um ativo estratégico, capaz de articular valor cultural e dinamização econômica, especialmente no contexto de economias regionais.

Diante desse cenário, instrumentos de proteção territorial, como a Indicação Geográfica (IG), apresentam-se como mecanismos relevantes para equilibrar valor econômico e preservação cultural. Experiências consolidadas, como a da cachaça, demonstram que a IG pode fortalecer identidades regionais e proteger denominações tradicionais contra usos indevidos (NASCIMENTO, 2023). No caso da tiquira, a ausência de tais mecanismos amplia o risco de desvinculação entre produto e território, sobretudo em um contexto de crescente interesse por produtos artesanais e de origem.

Em síntese, as perspectivas futuras para a tiquira dependem da capacidade de articular, de forma equilibrada, dimensões culturais, técnicas e econômicas. O reconhecimento enquanto patrimônio cultural imaterial representa um avanço significativo, mas permanece insuficiente se não for acompanhada de políticas públicas, estratégias de fortalecimento da produção local e inclusão efetiva das comunidades nos processos de decisão e geração de valor.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da tiquira ao longo deste capítulo evidencia que sua compreensão não pode ser resumida a uma dimensão isolada, seja técnica ou cultural. Trata-se de um sistema complexo, no qual processos fermentativos tradicionais, saberes empíricos e práticas socioculturais se articulam na construção de um produto que é, simultaneamente, alimento, identidade e patrimônio.

Os resultados apontam que, embora a recente valorização institucional tenha contribuído para ampliar a visibilidade da tiquira, persistem desafios relacionados à sua inserção em mercados contemporâneos, à superação de estigmas históricos e à preservação de suas características tradicionais. Nesse contexto, iniciativas de industrialização e reposicionamento de mercado, embora relevantes, devem ser conduzidas com cautela, de modo a evitar a descaracterização do produto e o distanciamento das comunidades produtoras.

A incorporação da tiquira no âmbito da bioeconomia representa uma oportunidade estratégica para a articulação entre desenvolvimento econômico e valorização cultural. No entanto, para que esse potencial se concretize de forma equitativa, torna-se indispensável a implementação de políticas públicas voltadas ao fortalecimento da produção local, aos pequenos produtores, oferecendo-lhes assessoria técnica e adequação sanitária, sem lhes subtrair a autonomia, garantindo-lhes condições dignas de qualidade de vida e à formalização gradual dos processos produtivos.

Nesse sentido, a consolidação de um modelo de Bioeconomia Territorial exige que a eficiência industrial não anule o protagonismo dos mestres tiquireiros. A implementação efetiva de uma Indicação Geográfica (IG) configura-se como a ferramenta mais promissora para o setor, protegendo o método ancestral, resguardando o nome da bebida, garantindo a

soberania dos produtores rurais frente a apropriações mercadológicas indevidas, além de garantir a construção de mercados mais justos.

Por fim, a tiquira deve ser compreendida não apenas como um vestígio do passado, mas como um elemento ativo na construção de futuros possíveis, nos quais tradição e inovação possam coexistir de maneira complementar, visto que, não são forças excludentes. Quando orientadas pela ética do pertencimento e pela inovação participativa, atuam como alicerces de um mesmo sistema sociocultural, capaz de preservar a identidade do Maranhão enquanto projeta seu patrimônio para novos horizontes e constitui uma condição essencial para que esse desenvolvimento seja culturalmente enraizado e socialmente sustentável.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao querido amigo Walter de Paula Pinto Neto, pelo convite, confiança, e apoio na contribuição desta obra fundamental.

Maria Lúcia dos Santos, pelo apoio e incentivo ao longo da trajetória.

Seu7, mais uma vez, obrigada pela abertura de caminhos.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Decreto nº 3.551, de 4 de agosto de 2000.** Institui o Registro de Bens Culturais de Natureza Imaterial que constituem patrimônio cultural brasileiro, cria o Programa Nacional do Patrimônio Imaterial e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 7 ago. 2000. Disponível em: [http://portal.iphan.gov.br/uploads/legislacao/Decreto_n_3.551_de_04_de_agosto_de_2000 .pdf](http://portal.iphan.gov.br/uploads/legislacao/Decreto_n_3.551_de_04_de_agosto_de_2000.pdf) Acesso em: 29 abr. 2026

BRASIL. **Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009.** Regulamenta a Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Brasília, DF: Presidência da República, 2009. Disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=DEC&numero=6871&ano=2009&ato=756AzZq1UeVpWT2c9>. Acesso em: 26 abr. 2026.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **Estratégia Nacional de Bioeconomia.** Brasília, DF: MMA, [2026]. Disponível em <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/bioeconomia/estrategia-nacional-de-bioeconomia> Acesso em: 26 abr. 2026.

CEREDA, Marney Pascoli; BRITO, Vitor Hugo dos Santos. Tiquira. In: VENTURINI FILHO, W. **Bebidas alcoólicas.** 2. ed. São Paulo: Blucher, 2016. p. 470-489.

- COELHO, M. D.; MOUCHREK FILHO, V. E. Caracterização físico-química da aguardente de mandioca (*Manihot esculenta* C.) - tiquira, do município de Barreirinhas do estado do Maranhão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 55., 2015, Goiânia. **Anais eletrônicos**. Rio de Janeiro: ABQ, 2015. Disponível em: <https://www.abq.org.br/cbq/2015/trabalhos/10/8211-21571.html>. Acesso em: 29 abr. 2026.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Mandioca: análise mensal: março de 2017**. Brasília: Conab, 2017. Disponível em: https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-de-mercado/analise-mensal/copy15_of_alho/mandioca-analise-mensal-2017/mandioca-analise-mensal-marco-2017.pdf. Acesso em: 26 abr. 2026.
- INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL. **Patrimônio Imaterial**. Brasília, DF: Iphan, [s.d.]. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/1583>. Acesso em: 29 abr. 2026.
- LIMA, T. T. M. et al. Traditional Brazilian fermented foods: cultural and technological aspects. **Journal of Ethnic Foods**, v. 9, n. 1, 35, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s42779-022-00153-4>. Acesso em: 26 abr. 2026.
- MENDES, E. M. **A Tiquira e sua promoção turística a partir de uma investigação na Casa das Tulhas em São Luís/Ma**. Tese de graduação—Departamento de Turismo e Hotelaria, Centro de Ciências Sociais, Universidade Federal do Maranhão: UFMA, 2018. Disponível em: <https://monografias.ufma.br/jspui/bitstream/123456789/2079/1/Erika%20Muniz%20Mendes.pdf> Acesso em: 22 abr. 2026
- MONTANARI, Massimo. **Comida como cultura**. São Paulo: Senac, 2008. 207p.
- MOREIRA, J. V. S. et al. Quantificação de compostos cianogênicos em diferentes genótipos de mandioca. In: JORNADA CIENTÍFICA EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA, 18., 2024, Cruz das Almas. **Inovação para a sustentabilidade agrícola**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2025. p. 100. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1184359/quantificacao-de-compostos-cianogenicos-em-diferentes-genotipos-de-mandioca>. Acesso em: 26 abr. 2026.
- NASCIMENTO, Jaqueline Silva; ALMEIDA, Rafael Mendonça; MELO, Sheila de Souza Corrêa de. Aguardente de Mandioca Tiquira: um potencial de Indicação Geográfica para o Estado do Maranhão. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 16, n. 5, p. 1728-1741, jul./set. 2023. DOI: <https://doi.org/10.9771/cp.v16i5.53521> Acesso em: 20 abr. 2026
- NORA, Pierre; AUN KHOURY, Tradução: Yara. ENTRE MEMÓRIA E HISTÓRIA: A PROBLEMÁTICA DOS LUGARES. **Projeto História : Revista do Programa de Estudos Pós- Graduação de História**, [S. l.], v. 10, 2012. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/revph/article/view/12101>. Acesso em: 29 abr. 2026.
- REIS, Luís Carlos Santos. **Desafios da produção artesanal de tiquira no povoado Baixa Grande: ensinamentos passados entre gerações**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso

(Licenciatura em Ciências Naturais/Química) – Universidade Federal do Maranhão, São Bernardo, 2025. Disponível em: [https://rosario.ufma.br/jspui/bitstream/123456789/8886/1/LU%C3%8DSCARLOSSANTOSREI S.pdf](https://rosario.ufma.br/jspui/bitstream/123456789/8886/1/LU%C3%8DSCARLOSSANTOSREI%20S.pdf). Acesso em: 26 abr. 2026.

RODRIGUES, P.; RIBEIRO, E.; RAPOSO, D. Tiquira Gaaaja: a percepção de um produto que emerge de um território. **Convergências**: Revista de Investigação e Ensino das Artes, [S. l.], v. 11, n. 22, 2018. Disponível em: <http://convergencias.ipcb.pt>. Acesso em: 29 abr. 2026.

SCHWAN, Rosane Freitas et al. Bebidas indígenas alcoólicas. In: VENTURINI FILHO, W. **Bebidas alcoólicas**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2016. p. 26-39.

SOUZA, A. C. M. *et al.* **História e Patrimônio Cultural**. Porto Alegre: SAGAH, 2021.

UNESCO. Convenção para a salvaguarda do patrimônio cultural imaterial. Paris: UNESCO, 2003. Disponível em: <https://ich.unesco.org/doc/src/00009-PT-Brazil-PDF.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2026.

CAPÍTULO X

PRODUTOS FERMENTADOS E OBESIDADE: ASPECTOS NUTRICIONAIS, FUNCIONAIS E METABÓLICOS

FERMENTED PRODUCTS AND OBESITY: NUTRITIONAL, FUNCTIONAL AND METABOLIC ASPECTS

DOI: 10.51859/ampla.iab6164-10

Thays Maria Costa de Lucena ¹
José Pereira dos Santos Junior ²
Rebeca Micaela da Silva ¹

¹ Mestra em Genética e Biologia Molecular. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

² Mestre em Genética e Biologia Molecular. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

RESUMO

A obesidade é uma doença multifatorial associada à inflamação crônica, alterações metabólicas e desequilíbrios na microbiota intestinal. O capítulo discute a relação entre microbiota, tecido adiposo e produtos fermentados, destacando o potencial dos alimentos probióticos no controle da obesidade. Produtos fermentados podem modular positivamente a microbiota intestinal, favorecer a produção de ácidos graxos de cadeia curta, reduzir processos inflamatórios, melhorar a saciedade e auxiliar no metabolismo energético e glicídico. Além disso, compostos bioativos presentes nesses alimentos podem contribuir para a redução da adiposidade e melhora do perfil metabólico. Assim, os produtos fermentados surgem como estratégia complementar promissora na prevenção e manejo da obesidade e de suas comorbidades.

Palavras-chave: Alimentos funcionais. Disbiose intestinal. Metabólitos bioativos.

ABSTRACT

Obesity is a multifactorial disease associated with chronic inflammation, metabolic changes, and imbalances in the gut microbiota. This chapter discusses the relationship between the microbiota, adipose tissue, and fermented products, highlighting the potential of probiotic foods in obesity management. Fermented products can positively modulate the gut microbiota, promote the production of short-chain fatty acids, reduce inflammatory processes, improve satiety, and aid in energy and glucose metabolism. Furthermore, bioactive compounds present in these foods may contribute to reducing adiposity and improving the metabolic profile. Thus, fermented products emerge as a promising complementary strategy in the prevention and management of obesity and its comorbidities.

Keywords: Bioactive metabolites. Functional foods. Intestinal dysbiosis.

1. OBESIDADE: ASPECTOS FISIOPATOLÓGICOS E METABÓLICOS

A obesidade é tradicionalmente definida como uma doença multifatorial crônica caracterizada pelo acúmulo de gordura visceral que leva a uma maior predisposição ao desenvolvimento de doenças cardiometabólicas (Barakat; Almeida, 2021).

Entre os anos de 1975 e 2023, a prevalência mundial de obesidade quase triplicou, evidenciando um problema significativo e em constante crescimento, que atingiu níveis pandêmicos. Estima-se que em 2025, 2,3 bilhões de adultos ao redor do mundo estejam acima do peso, sendo 700 milhões de indivíduos com obesidade. No Brasil, essa condição aumentou 72% nos últimos 13 anos, sendo o sobrepeso observado em mais da metade dos adultos com 55,4%, enquanto a obesidade afeta 19,8% da população, em que 18,7% são homens e 20,7% mulheres (ABESO, 2026).

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), a característica física atribuída para essa condição é o aumento da circunferência abdominal ou da cintura, sendo medidas diferentes de acordo com o sexo biológico do indivíduo, mulheres acima de 88 cm e homens acima de 102 cm de circunferência, apresentam excesso de tecido adiposo. Além disso, o índice de massa corporal (IMC) é um parâmetro utilizado para classificar o sobrepeso e a obesidade em adultos (WHO, 2026). O cálculo é definido pelo peso do indivíduo, em quilogramas (kg), dividido pelo quadrado de sua altura, em metros (m²). Para adultos, é determinado que indivíduos com sobrepeso apresentam $IMC \geq 25\text{kg/m}^2$, enquanto a obesidade deve ser considerada quando apresenta o $IMC \geq 30\text{kg/m}^2$. Para idosos, a obesidade é considerada quando o $IMC \geq 27\text{kg/m}^2$. O IMC fornece a medida populacional mais útil de sobrepeso e obesidade, pois é o mesmo para ambos os sexos e para todas as idades, de acordo com a faixa etária, tanto em adultos quanto em idosos (Sherling et al., 2017).

O tecido adiposo é um órgão endócrino com alta atividade biológica, variando entre estado metabólico, de acordo com sua classificação em tecido adiposo marrom (BAT, do inglês *brown adipose tissue*) e tecido adiposo branco (WAT, do inglês *white adipose tissue*), (Oikonomou; Antoniades, 2019) como também variando em localização, sendo denominado de tecido adiposo subcutâneo (SCAT, do inglês *subcutaneous adipose tissue*), que é distribuído sob a pele, com camadas superficiais ou tecido adiposo visceral (VAT, do inglês *visceral adipose tissue*), presente na cavidade abdominal, em volta dos órgãos (Esser et al., 2014).

Além da localização, SCAT e VAT apresentam diferenças fisiológicas distintas. SCAT é considerado uma gordura superficial e a forma mais segura de armazenamento lipídico, enquanto o VAT apresenta maior atividade metabólica e perfil pró-inflamatório. O VAT apresenta maior susceptibilidade à lipólise, menor capacidade de diferenciação de pré-adipócitos e elevada produção de citocinas pró-inflamatórias, como TNF- α e IL-6, além de maior infiltração de macrófagos, tornando-o metabolicamente mais inflamatório do que a gordura subcutânea (Monteiro; Azevedo, 2010; Unamuno et al., 2018).

O acúmulo excessivo de VAT está diretamente associado à obesidade e contribui para o desenvolvimento de resistência à insulina, uma vez que este tecido libera grandes quantidades de ácidos graxos não-esterificados na circulação, favorecendo o acúmulo de lipídios em órgãos e tecidos como fígado e músculos. Esse processo está relacionado ao desenvolvimento de dislipidemias, hipertensão arterial e inflamação sistêmica crônica de baixo grau, aumentando significativamente o risco de doenças cardiovasculares (Rask-Madsen et al., 2010; Barakat; Almeida, 2021).

Além das citocinas, as adipocinas também são produzidas pelo tecido adiposo, dentre elas a adiponectina, que exerce importante papel anti-inflamatório e regulador do metabolismo energético. A adiponectina aumenta a sensibilidade à insulina por meio da ativação da proteína quinase ativada por AMP (AMPK), estimulando a oxidação de ácidos graxos e reduzindo a produção de citocinas pró-inflamatórias, como IL-6 e TNF- α . Além disso, exerce efeito vasoprotetor ao estimular a produção de óxido nítrico pelas células endoteliais. Entretanto, indivíduos obesos apresentam níveis reduzidos dessa adipocina (Stolarczyk, 2017; Francisco et al., 2018; Farkhondeh et al., 2020).

Em contrapartida, adipocinas como resistina e leptina apresentam caráter predominantemente pró-inflamatório. A resistina estimula a ativação da via NF- κ B e aumenta a produção de citocinas inflamatórias, incluindo TNF- α , IL-1, IL-6 e IL-12, além de favorecer a expressão de moléculas de adesão endotelial, como VCAM-1 e ICAM-1 (Feijóo-Bandín et al., 2020). A leptina, por sua vez, também participa da modulação imunológica, estimulando a resposta inflamatória e a proliferação de células Th1 (Stolarczyk, 2017).

Dessa forma, indivíduos obesos apresentam um desequilíbrio entre adipocinas pró e anti-inflamatórias, com níveis de adiponectina diminuídos e de leptina e resistina elevados. Essa condição contribui para a persistência da inflamação sistêmica crônica de baixo grau,

para a resistência à insulina e para o avanço de complicações cardiovasculares relacionadas à obesidade (Unamuno et al., 2018).

Relação entre microbiota intestinal e obesidade

O estado inflamatório crônico da obesidade também está relacionado às alterações na composição e funcionalidade da microbiota intestinal (Jalili et al., 2023). Indivíduos obesos frequentemente apresentam um quadro de disbiose intestinal, caracterizado pelo desequilíbrio entre microrganismos benéficos e patogênicos, aumento da razão entre Firmicutes/Bacteroidetes (F/B), comprometimento da integridade da barreira intestinal e maior permeabilidade do epitélio intestinal (Ley et al., 2006). Os filos Firmicutes e Bacteroidetes representam mais de 90% das bactérias da microbiota intestinal humana e desempenham funções essenciais na digestão, na produção de vitaminas e na regulação imunológica, sendo a proporção entre eles considerada um importante marcador da saúde metabólica e do controle do peso corporal (Rinninella et al., 2019).

Os Firmicutes, bactérias Gram-positivas que incluem gêneros como *Lactobacillus* e *Clostridium*, apresentam elevada capacidade de extração energética da dieta, estando frequentemente associados ao maior acúmulo de energia e à obesidade. Em contrapartida, os Bacteroidetes, bactérias Gram-negativas especializadas na degradação de polissacarídeos vegetais e fibras alimentares, geralmente estão relacionados a perfis metabólicos mais saudáveis e tendem a ser favorecidos por dietas ricas em fibras (Turnbaugh et al., 2006; Magne et al., 2020). Evidências demonstram que dietas hiperlipídicas e ricas em açúcares promovem aumento relativo de Firmicutes, enquanto padrões alimentares ricos em fibras favorecem o crescimento de Bacteroidetes (De Filippo et al., 2010; Wu et al., 2011; Magne et al., 2020).

Alterações na razão F/B têm sido associadas não apenas à obesidade, mas também ao desenvolvimento de diabetes, de doenças inflamatórias e de outros quadros de disbiose intestinal. Além disso, o desequilíbrio microbiano favorece a translocação de componentes bacterianos, como lipopolissacarídeos (LPS), para a circulação sistêmica, contribuindo para a endotoxemia metabólica e para a ativação persistente de vias inflamatórias associadas à resistência à insulina e à inflamação sistêmica crônica (Cani et al., 2005; Magne et al., 2020).

Nesse contexto, a microbiota intestinal é vista como um órgão metabólico que desempenha um papel central na regulação do metabolismo energético, do armazenamento lipídico, da sensibilidade à insulina e da resposta imunológica (Turnbaugh et al., 2006).

Alterações no perfil microbiano intestinal podem favorecer maior extração energética da dieta, aumento da adipogênese e da produção de metabólitos pró-inflamatórios, contribuindo para a progressão da obesidade e de suas complicações metabólicas. Além disso, a disbiose intestinal está associada à redução na produção de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), metabólitos produzidos principalmente pela fermentação de fibras alimentares, que desempenham importante função anti-inflamatória, imunomoduladora e reguladora da homeostase metabólica (Tilg; Kaser, 2011; Koh et al., 2016).

Dessa forma, a interação entre o tecido adiposo visceral, a inflamação sistêmica e a microbiota intestinal estabelecem um eixo metabólico e imunológico fundamental na fisiopatologia da obesidade. Nesse cenário, estratégias capazes de modular positivamente a microbiota intestinal, como a alimentação rica em compostos bioativos e o consumo de produtos fermentados, têm despertado crescente interesse devido ao potencial de restaurar o equilíbrio microbiano, reduzir processos inflamatórios e auxiliar no controle das alterações metabólicas associadas à obesidade.

2. RELAÇÃO ENTRE PRODUTOS FERMENTADOS, DIETA E OBESIDADE

Dado o impacto clínico multifatorial da obesidade, caracterizada não apenas pelo acúmulo excessivo de gordura, como também pela maior predisposição ao desenvolvimento de outras desordens, diversos medicamentos têm sido utilizados tanto na prevenção quanto no tratamento (Tchang et al., 2024). Tal abordagem não se restringe à desordem em si, mas abrange também as comorbidades metabólicas associadas, como o *diabetes mellitus* tipo 2 (DM2), a apneia obstrutiva do sono e a doença arterial coronariana (WHO, 2026). A grande questão em relação ao tratamento da obesidade, para além do alto custo de alguns fármacos, reside nos efeitos colaterais (Yanovski; Yanovski, 2014).

Além dos desafios associados ao sobrepeso e aos efeitos colaterais de determinados medicamentos, devido ao seu caráter multissistêmico, a obesidade também pode resultar em disfunções imunológicas associadas à disbiose do WAT e da microbiota intestinal, o que requer uma atenção especial a esses desequilíbrios (Tilg; Kaser, 2011). Descobertas recentes demonstraram que o consumo de produtos fermentados com potencial probiótico beneficia a função do tecido adiposo, pois tais biocompostos reduzem a inflamação sistêmica e auxiliam na regulação da microbiota intestinal. Esses benefícios estão associados a efeitos colaterais

menores e a um custo reduzido em comparação com outras formas de tratamento (Marco et al., 2017; Koutnikova et al., 2019; Muscogiuri et al., 2019).

Os probióticos contêm microrganismos resistentes à ação do ácido gástrico e possuem ação semelhante à dos sistemas tradicionais de administração de medicamentos, já que, ao serem transformados, aumentam a biodisponibilidade de uma ampla gama de compostos bioativos em doses seguras e com elevada capacidade de ação nos locais-alvo (Hill et al., 2014). Esses alimentos possuem essa propriedade medicinal devido à quantidade de microrganismos viáveis e aos metabólitos por eles produzidos; tais compostos protegem o trato gastrointestinal (TGI) tanto da ação de microrganismos patogênicos quanto do excesso de ácido gástrico e de sais biliares. Por equilibrarem o processo de simbiose entre o hospedeiro e seu microbioma, esses alimentos podem ser fundamentais para a regulação da disbiose associada à obesidade (Marco et al., 2017; Sanders et al., 2019; Plaza-Diaz et al., 2019).

Considerando a abundância e a variação natural, sob o ponto de vista geográfico, entre os indivíduos, os dados disponíveis na literatura sugerem que o desbalanceamento da razão F/B, está associado à patogênese e ao agravamento da obesidade. Esse desequilíbrio decorre da redução da variabilidade das populações microbianas em indivíduos obesos. Algumas hipóteses indicam que a manipulação da microbiota intestinal pode auxiliar na regulação do apetite e da saciedade, influenciando o controle do peso corporal. Tais evidências sugerem que a modulação dessas populações microbianas interfere na sinalização neuroendócrina, impactando diretamente o balanço energético do hospedeiro (Turnbaugh et al., 2009; Torres-Fuentes et al., 2017).

Além do potencial de controle do sobrepeso por meio da regulação da razão F/B, alguns probióticos também possuem ação termogênica, influenciando o metabolismo lipídico, como os produtos fermentados derivados da soja, que atuam como agentes promotores da lipólise ou inibidores da lipogênese. A utilização de probióticos fermentados também pode auxiliar na redução das dislipidemias e da hiperglicemia em jejum, influenciando ainda a resistência à insulina, observada em pacientes que desenvolvem DM2 decorrente da obesidade (Anandharaj et al., 2013; Makwana et al., 2023). Tal efeito deve-se a fitoquímicos bioativos como as agliconas, a hemaglutinina e os inibidores de protease ou de alfa-glicosidase. O papel deste último, por exemplo, vem sendo amplamente discutido nesse contexto, visto que mimetiza o efeito de fármacos como a acarbose, retardando a absorção

de carboidratos e auxiliando diretamente no controle da glicemia pós-prandial (Friedman; Brandon, 2001; Tundis et al., 2010).

A integração desses compostos bioativos com a modulação da microbiota sugere um mecanismo sinérgico que vai além da saúde intestinal. Ao atuar na regulação de vias metabólicas críticas e na sinalização neuroendócrina, os alimentos fermentados possuem o potencial de atuar não apenas como adjuvantes dietéticos, mas também como estratégias promissoras capazes de reduzir o estado inflamatório e os distúrbios metabólicos centrais na patogênese da obesidade. Somada a isso, a utilização de probióticos representa uma abordagem terapêutica de baixo custo e com efeitos colaterais reduzidos, tornando-se uma alternativa viável e acessível para o manejo clínico de longo prazo, auxiliando tanto na prevenção quanto no controle das comorbidades associadas (Marco et al., 2017; Hijová, 2022).

3. PAPEL DOS PRODUTOS FERMENTADOS NO CONTROLE DA OBESIDADE

Os benefícios atribuídos aos produtos fermentados não se restringem apenas à saúde intestinal, mas envolvem uma complexa interação entre a microbiota, o metabolismo e a resposta imunológica. A partir dessa perspectiva, diferentes mecanismos têm sido propostos para explicar seus efeitos no controle da obesidade, incluindo a modulação da microbiota intestinal, a regulação da saciedade, a redução da inflamação metabólica e os impactos no metabolismo energético e na adiposidade (Aggarwal et al., 2013; Marco et al., 2017).

Produtos fermentados, especialmente laticínios probióticos como iogurtes e leites fermentados, promovem alterações na composição da microbiota intestinal. Esses alimentos aumentam a abundância de bactérias benéficas e favorecem a produção de metabólitos bioativos, incluindo acetato, propionato e butirato, os principais AGCC produzidos pela fermentação bacteriana de fibras alimentares. Esses compostos exercem efeitos importantes sobre o metabolismo energético, a integridade da barreira intestinal e a resposta imunológica (Koh et al., 2016; Marco et al., 2017; Sanders et al., 2019).

Os AGCCs atuam como moléculas sinalizadoras capazes de interagir com receptores específicos, como os receptores acoplados à proteína G (GPR41 e GPR43), estimulando vias relacionadas à homeostase energética e ao metabolismo glicídico e lipídico. Além disso, os produtos fermentados influenciam o metabolismo de ácidos biliares secundários, modulando

receptores como FXR e TGR5, envolvidos na regulação do gasto energético, da oxidação lipídica e do controle glicêmico (Koh et al., 2016; Wahlström et al., 2016). Os alimentos fermentados à base de vegetais e frutas, bem como bebidas fermentadas, promovem a remodelação da microbiota intestinal em modelos animais alimentados com dietas hiperlipídicas, reduzindo a disbiose e melhorando os parâmetros metabólicos associados à obesidade (Park et al., 2012; Aggarwal et al., 2013).

Além da modulação microbiana, os produtos fermentados podem influenciar diretamente os mecanismos neuroendócrinos relacionados à fome e à saciedade. Os ACGG produzidos pela microbiota intestinal estimulada por probióticos participam da liberação de hormônios intestinais anorexigênicos, como o peptídeo semelhante ao glucagon tipo 1 (GLP-1) e o peptídeo YY (PYY), ambos associados à redução da ingestão alimentar e ao aumento da sensação de saciedade (Reed et al., 2010; Tolhurst et al., 2012; Koh et al., 2016). O butirato e o propionato, em particular, apresentam importante ação sobre as células enteroendócrinas do intestino, promovendo sinalização metabólica capaz de modular centros hipotalâmicos relacionados ao controle do apetite. Além disso, os produtos fermentados podem influenciar positivamente a produção e a sensibilidade à leptina, proteína produzida pelo tecido adiposo responsável pelo controle da ingestão alimentar e do balanço energético (Canfora et al., 2019).

Outro aspecto relevante envolve a capacidade dos produtos fermentados de retardar o esvaziamento gástrico e melhorar as respostas glicêmicas pós-prandiais, contribuindo para maior controle da fome e menor consumo energético ao longo do dia (Rabinovitz et al., 2013). Revisões de literatura indicam que o consumo regular de iogurte está associado à melhor manutenção do peso corporal e o menor risco de ganho excessivo de peso a longo prazo. Embora os mecanismos exatos ainda estejam sendo investigados, acredita-se que a interação entre a microbiota intestinal, a produção de metabólitos bacterianos e a sinalização hormonal seja um dos principais fatores envolvidos nos efeitos dos alimentos fermentados sobre a saciedade e o comportamento alimentar (Mozaffarian et al., 2011; Panahi; Tremblay 2016; Torres-Fuentes et al., 2017; Costa et al., 2023).

Como mencionado no início do capítulo, a obesidade é caracterizada por um estado inflamatório crônico de baixo grau, ocasionado pela hipertrofia do tecido adiposo e pelo recrutamento de células inflamatórias, especialmente macrófagos, para o tecido adiposo visceral. Esse processo promove aumento da produção de citocinas pró-inflamatórias que

contribuem para resistência à insulina e disfunção metabólica (Monteiro; Azevedo 2010; Oikonomou; Antoniadis 2019).

Produtos fermentados apresentam potencial anti-inflamatório significativo devido à ação conjunta de probióticos, peptídeos bioativos, compostos fenólicos e metabólitos bacterianos produzidos durante a fermentação. Os AGCCs, especialmente o butirato, exercem importante ação imunomodulatória, reduzindo ativação de vias inflamatórias como NF- κ B e estimulando células T reguladoras (Koh et al., 2016). Além disso, a melhora da integridade da barreira intestinal promovida por bactérias probióticas reduz a translocação de LPS para a circulação sistêmica, diminuindo a chamada endotoxemia metabólica, importante gatilho inflamatório associado à obesidade e a resistência à insulina. Assim, o consumo de leites fermentados probióticos reduz marcadores inflamatórios, o estresse oxidativo e a infiltração de células inflamatórias nos tecidos adiposo e hepático (Cani et al., 2007; Marco et al., 2017; Plaza-Dias et al., 2019).

Outros efeitos dos produtos fermentados também exercem atividades sobre o metabolismo energético e a gordura corporal. Os compostos bioativos produzidos durante a fermentação modulam genes envolvidos na adipogênese, na lipólise e na oxidação de ácidos graxos, contribuindo para um menor acúmulo lipídico e para a melhora do perfil metabólico. Isso é ocasionado devido a redução da expressão de fatores lipogênicos, como SREBP-1c e FAS, além de aumento da atividade de enzimas relacionadas à β -oxidação de ácidos graxos, assim indivíduos com consumo de dieta hiperlipídica ao consumirem produtos fermentados podem reduzir peso corporal, adiposidade visceral e esteatose hepática (Aggarwal et al., 2013; Mo et al., 2022). Outro mecanismo relevante é o estímulo ao “browning” do WAT. Alguns probióticos presentes em produtos fermentados aumentam a expressão de proteínas termogênicas, como UCP-1, promovendo maior gasto energético e dissipação de energia na forma de calor. Esse efeito tem sido considerado uma estratégia promissora no tratamento da obesidade (Suárez-Zamorano et al., 2015).

Em humanos, estudo demonstra que leites fermentados probióticos promoveram redução modesta, porém significativa, do peso corporal e do IMC, embora os efeitos sobre circunferência abdominal e percentual de gordura ainda sejam inconsistentes entre os estudos (Borgeraas et al., 2018). Isso demonstra que o consumo regular de iogurte está associado a melhor perfil metabólico e menor risco de obesidade abdominal, mas sem

evidências consistentes de que laticínios fermentados integrais promovam ganho de peso (Panahi; Tremblay 2015; Borgeraas et al., 2018).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De forma geral, os produtos fermentados representam uma abordagem nutricional promissora no controle da obesidade devido à sua capacidade de modular a microbiota intestinal, reduzir inflamação metabólica, melhorar mecanismos de saciedade e atuar sobre o metabolismo energético e adiposidade. Assim, esses alimentos devem ser considerados estratégias complementares dentro de um contexto mais amplo de alimentação equilibrada, prática regular de atividade física e mudanças sustentáveis no estilo de vida.

REFERÊNCIAS

- ABESO. **Mapa da Obesidade**. Disponível em: <https://abeso.org.br/mapa-da-obesidade/>. Acesso em: 16 maio 2026.
- AGGARWAL, J.; SWAMI, G.; KUMAR, M. Probiotics and their Effects on Metabolic Diseases: An Update. **Journal of Clinical and Diagnostic Research**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 173-177, jan. 2013. JCDR Research and Publications. <http://dx.doi.org/10.7860/JCDR/2012/5004.2701>.
- BARAKAT, B.; ALMEIDA, M. E. F. Biochemical and immunological changes in obesity. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, [S.L.], v. 708, p. 108951, set. 2021. Elsevier BV.
- BORGERAAS, H.; JOHNSON, L. K.; SKATTEBU, J.; HERTEL, J. K.; HJELMESÆTH, J. Effects of probiotics on body weight, body mass index, fat mass and fat percentage in subjects with overweight or obesity: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. **Obesity Reviews**, [S.L.], v. 19, n. 2, p. 219-232, fev. 2018. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/obr.12626>.
- CANFORA, E. E.; MEEH, R. C. R.; VENEMA, K.; BLAAK, E. E. Gut microbial metabolites in obesity, NAFLD and T2DM. **Nature Reviews Endocrinology**, [S.L.], v. 15, n. 5, p. 261-273, maio 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41574-019-0156-z>.
- CANI, P. D. et al. Metabolic endotoxemia initiates obesity and insulin resistance. **Diabetes**, [S.L.], v. 54, n. 7, p. 2188-2197, jul. 2005. **American Diabetes Association**. <http://dx.doi.org/10.2337/diabetes.54.7.2188>.
- COSTA, M. A. DE C.; VILELA, D. L. DE S.; FRAIZ, G. M.; LOPES, I. L.; COELHO, A. I. M.; CASTRO, L. C. V.; MARTIN, J. G. P. Effect of kombucha intake on the gut microbiota and obesity-related comorbidities: a systematic review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [S.L.], v. 63, n. 19, p. 3851-3866, 2023. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2021.1995321>.

- DE FILIPPO, C.; CAVALIERI, D.; DI PAOLA, M.; RAMAZZOTTI, M.; POULLET, J. B.; MASSART, S.; COLLINI, S.; PIERACCINI, G.; LIONETTI, P. Impact of diet in shaping gut microbiota revealed by a comparative study in children from Europe and rural Africa. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [S.L.], v. 107, n. 33, p. 14691-14696, ago. 2010. Proceedings of the National Academy of Sciences. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1005963107>.
- ESSER, N. et al. Inflammation as a link between obesity, metabolic syndrome and type 2 diabetes. **Diabetes Research and Clinical Practice**, [S.L.], v. 105, n. 2, p. 141-150, ago. 2014. Elsevier BV.
- FARKHONDEH, T. et al. An Overview of the Role of Adipokines in Cardiometabolic Diseases. **Molecules**, [S.L.], v. 25, n. 21, p. 5218, 9 nov. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules25215218>.
- FEIJÓO-BANDÍN, S. et al. Adipokines and Inflammation: Focus on Cardiovascular Diseases. **International Journal of Molecular Sciences**, [S.L.], v. 21, n. 20, p. 7711, 18 out. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms21207711>.
- FRANCISCO, V. et al. Adipokines and inflammation: is it a question of weight? **British Journal of Pharmacology**, [S.L.], v. 175, n. 10, p. 1569-1579, maio 2018. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/bph.14163>.
- FRIEDMAN, Mendel; BRANDON, David L. Nutritional and health benefits of soy proteins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [S.L.], v. 49, n. 3, p. 1069-1086, mar. 2001. American Chemical Society. <http://dx.doi.org/10.1021/jf0009246>.
- HIJOVÁ, E. Synbiotic Supplements in the Prevention of Obesity and Obesity-Related Diseases. **Metabolites**, [S.L.], v. 12, n. 4, p. 313, 31 mar. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/metabo12040313>.
- HILL, C.; GUARNER, F.; REID, G. et al. The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. **Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology**, [S.L.], v. 11, n. 8, p. 506-514, ago. 2014. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/nrgastro.2014.66>.
- JALILI, M.; NAZARI, M.; MAGKOS, F. Fermented Foods in the Management of Obesity: Mechanisms of Action and Future Challenges. **International Journal of Molecular Sciences**, [S.L.], v. 24, n. 3, p. 2665, fev. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms24032665>.
- JIMOH, A.; ADEBO, O. Evaluation of antiobesogenic properties of fermented foods: In silico insights. **Journal of Food Science**, [S.L.], v. 90, 2025. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/1750-3841.70074>.
- KOH, A. et al. From dietary fiber to host physiology: short-chain fatty acids as key bacterial metabolites. **Cell**, [S.L.], v. 165, n. 6, p. 1332-1345, jun. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cell.2016.05.041>.

- KOUTNIKOVA, H.; GENSER, B.; MONTEIRO-SEPULVEDA, M. et al. Impact of bacterial probiotics on obesity, diabetes and non-alcoholic fatty liver disease related variables: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. **BMJ Open**, [S.L.], v. 9, n. 3, e017995, 2019. BMJ. <http://dx.doi.org/10.1136/bmjopen-2017-017995>.
- LEY, R.; TURNBAUGH, P.; KLEIN, S. et al. Human gut microbes associated with obesity. *Nature*, [S.L.], v. 444, p. 1022-1023, dez. 2006. **Springer Science and Business Media LLC**. <http://dx.doi.org/10.1038/4441022a>.
- MAGNE, F.; GOTTELAND, M.; GAUTHIER, L.; ZAZUETA, A.; PESOA, S.; NAVARRETE, P.; BALAMURUGAN, R. The Firmicutes/Bacteroidetes Ratio: A Relevant Marker of Gut Dysbiosis in Obese Patients? **Nutrients**, [S.L.], v. 12, n. 5, p. 1474, maio 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/nu12051474>.
- MAKWANA, S.; PRAJAPATI, J.; PIPALIYA, R.; HATI, S. Effects of probiotic fermented milk on management of obesity studied in high-fat-diet induced obese rat model. *Food Production, Processing And Nutrition*, [S.L.], v. 5, p. 1-18, 2023. **Springer Science and Business Media LLC**. <http://dx.doi.org/10.1186/s43014-022-00112-1>.
- MARCO, M. L.; HEENEY, D.; BINDA, S. et al. Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond. **Current Opinion in Biotechnology**, [S.L.], v. 44, p. 94-102, abr. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.copbio.2016.11.010>.
- MO, Sung-Joo; LEE, K.; HONG, H. J.; HONG, D. K.; JUNG, S. H.; PARK, S. D.; SHIM, J. J.; LEE, J. L. Effects of *Lactobacillus curvatus* HY7601 and *Lactobacillus plantarum* KY1032 on Overweight and the Gut Microbiota in Humans: Randomized, Double-Blinded, Placebo-Controlled Clinical Trial. **Nutrients**, [S.L.], v. 14, n. 12, p. 2484, 15 jun. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/nu14122484>.
- MONTEIRO, R.; AZEVEDO, I. Chronic inflammation in obesity and the metabolic syndrome. **Mediators of Inflammation**, [S.L.], v. 2010, p. 1-10, 2010. Hindawi Limited.
- MOZAFFARIAN, D. et al. Changes in diet and lifestyle and long-term weight gain in women and men. **The New England Journal of Medicine**, [S.L.], v. 364, n. 25, p. 2392-2404, jun. 2011. Massachusetts Medical Society. <http://dx.doi.org/10.1056/NEJMoa1014296>.
- MUSCOGIURI, G.; CANTONE, E.; CASSARANO, S. et al. Gut microbiota: a new path to treat obesity. **International Journal of Obesity Supplements**, [S.L.], v. 9, p. 10-19, 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41367-019-0011-7>.
- OIKONOMOU, E. K.; ANTONIADES, C. The role of adipose tissue in cardiovascular health and disease. **Nature Reviews Cardiology**, [S.L.], v. 16, n. 2, p. 83-99, 4 fev. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41569-018-0099-7>.
- PANAHI, S.; TREMBLAY, A. The Potential Role of Yogurt in Weight Management and Prevention of Type 2 Diabetes. **Journal of the American College of Nutrition**, [S.L.], v. 35, n. 8, p. 717-731, 2016. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/07315724.2015.1102103>.

- PARK, J. A.; TIRUPATHI PICHAI, P. B.; YU, J. J.; OH, S. H.; DAILY, J. W.; CHA, Y. S. Anti-obesity effect of kimchi fermented with *Weissella koreensis* OK1-6 as starter in high-fat diet-induced obese C57BL/6J mice. **Journal of Applied Microbiology**, [S.L.], v. 113, n. 6, p. 1507-1516, dez. 2012. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/jam.12017>.
- PLAZA-DIAZ, J.; RUIZ-OJEDA, F. J.; GIL-CAMPOS, M.; GIL, A. Mechanisms of Action of Probiotics. **Advances in Nutrition**, [S.L.], v. 10, supl. 1, p. S49-S66, jan. 2019. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/advances/nmy063>.
- RABINOVITZ, H. R.; BOAZ, M.; GANZ, T.; JAKUBOWICZ, D.; MATAS, Z.; MADAR, Z.; WAINSTEIN, J. Big breakfast rich in protein and fat improves glycemic control in type 2 diabetics. **Obesity**, [S.L.], v. 22, p. E46-E54, 2014. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/oby.20654>.
- RASK-MADSEN, C. et al. Loss of Insulin Signaling in Vascular Endothelial Cells Accelerates Atherosclerosis in Apolipoprotein E Null Mice. **Cell Metabolism**, [S.L.], v. 11, n. 5, p. 379-389, maio 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cmet.2010.03.013>.
- REED, Alison S.; UNGER, Elizabeth K.; OLOFSSON, Louise E.; PIPER, Merisa L.; MYERS, Martin G.; XU, Allison W. Functional Role of Suppressor of Cytokine Signaling 3 Upregulation in Hypothalamic Leptin Resistance and Long-Term Energy Homeostasis. **Diabetes**, [S.L.], v. 59, n. 4, p. 894-906, 1 abr. 2010. American Diabetes Association. <http://dx.doi.org/10.2337/db09-1024>.
- RINNINELLA, E.; RAOUL, P.; CINTONI, M.; FRANCESCHI, F.; MIGGIANO, G. A. D.; GASBARRINI, A.; MELE, M. C. What is the Healthy Gut Microbiota Composition? A Changing Ecosystem across Age, Environment, Diet, and Diseases. **Microorganisms**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 14, jan. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/microorganisms7010014>.
- SANDERS, M. E.; MERENSTEIN, D. J.; REID, G. et al. Probiotics and prebiotics in intestinal health and disease: from biology to the clinic. **Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology**, [S.L.], v. 16, n. 10, p. 605-616, out. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41575-019-0173-3>.
- SHERLING, D. H.; PERUMAREDDI, P.; HENNEKENS, C. H. Metabolic Syndrome. **Journal of Cardiovascular Pharmacology and Therapeutics**, [S.L.], v. 22, n. 4, p. 365-367, 9 jul. 2017. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/1074248416686187>.
- STOLARCZYK, E. Adipose tissue inflammation in obesity: a metabolic or immune response? **Current Opinion in Pharmacology**, [S.L.], v. 37, p. 35-40, dez. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coph.2017.08.006>.
- SUÁREZ-ZAMORANO, N.; FABBIANO, S.; CHEVALIER, C.; STOJANOVIĆ, O.; COLIN, D. J.; STEVANOVIĆ, A. et al. Microbiota depletion promotes browning of white adipose tissue and reduces obesity. **Nature Medicine**, [S.L.], v. 21, n. 12, p. 1497-1501, dez. 2015. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/nm.3994>.
- TCHANG, B. G.; ARAS, M.; KUMAR, R. B. et al. **Pharmacologic Treatment of Overweight and Obesity in Adults**. In: FEINGOLD, K. R. et al. (ed.). Endotext. South Dartmouth:

- MDText.com, Inc., 2000-. Atualizado em 20 ago. 2024. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK279038/>. Acesso em: 17 maio 2026.
- TILG, H.; KASER, A. Gut microbiome, obesity, and metabolic dysfunction. **The Journal of Clinical Investigation**, [S.L.], v. 121, n. 6, p. 2126-2132, jun. 2011. American Society for Clinical Investigation. <http://dx.doi.org/10.1172/JCI58109>.
- TOLHURST, G.; HEFFRON, H.; LAM, Y. S.; PARKER, H. E.; HABIB, A. M.; DIAKOIANNAKI, E. et al. Short-chain fatty acids stimulate glucagon-like peptide-1 secretion via the G-protein-coupled receptor FFAR2. **Diabetes**, [S.L.], v. 61, n. 2, p. 364-371, fev. 2012. American Diabetes Association. <http://dx.doi.org/10.2337/db11-1019>.
- TORRES-FUENTES, C.; SCHELLEKENS, H.; DINAN, T. G.; CRYAN, J. F. The microbiota-gut-brain axis in obesity. **The Lancet Gastroenterology & Hepatology**, [S.L.], v. 2, n. 10, p. 747-756, out. 2017. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/S2468-1253\(17\)30147-4](http://dx.doi.org/10.1016/S2468-1253(17)30147-4).
- TUNDIS, R.; LOIZZO, M. R.; MENICHINI, F. Natural products as alpha-amylase and alpha-glucosidase inhibitors and their hypoglycaemic potential in the treatment of diabetes: an update. **Mini-Reviews in Medicinal Chemistry**, [S.L.], v. 10, n. 4, p. 315-331, abr. 2010. Bentham Science Publishers Ltd. <http://dx.doi.org/10.2174/138955710791331007>.
- TURNBAUGH, P.; HAMADY, M.; YATSUNENKO, T. et al. A core gut microbiome in obese and lean twins. **Nature**, [S.L.], v. 457, p. 480-484, jan. 2009. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/nature07540>.
- TURNBAUGH, P.; LEY, R.; MAHOWALD, M. et al. An obesity-associated gut microbiome with increased capacity for energy harvest. **Nature**, [S.L.], v. 444, p. 1027-1031, dez. 2006. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/nature05414>.
- UNAMUNO, X. et al. Adipokine dysregulation and adipose tissue inflammation in human obesity. **European Journal of Clinical Investigation**, [S.L.], v. 48, n. 9, p. e12997, set. 2018. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/eci.12997>.
- WAHLSTRÖM, A.; SAYIN, S. I.; MARSCHALL, H. U.; BÄCKHED, F. Intestinal Crosstalk between Bile Acids and Microbiota and Its Impact on Host Metabolism. **Cell Metabolism**, [S.L.], v. 24, n. 1, p. 41-50, jul. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cmet.2016.05.005>.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. Obesity and overweight. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>. Acesso em: 17 maio 2026.
- WU, G. D. et al. Linking Long-Term Dietary Patterns with Gut Microbial Enterotypes. **Science**, [S.L.], v. 334, n. 6052, p. 105-108, out. 2011. American Association for the Advancement of Science. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1208344>.

YANOVSKI, S. Z.; YANOVSKI, J. A. Long-term drug treatment for obesity: a systematic and clinical review. **JAMA**, [S.L.], v. 311, n. 1, p. 74-86, 1 jan. 2014. American Medical Association (AMA). <http://dx.doi.org/10.1001/jama.2013.281361>.



AMPLLA
EDITORA

