

## DO LABORATÓRIO À MESA: A JORNADA DOS ALIMENTOS FUNCIONAIS E NUTRACÊUTICOS NA ERA DA BIOTECNOLOGIA

## DEL LABORATORIO A LA MESA: EL VIAJE DE LOS ALIMENTOS FUNCIONALES Y NUTRACÉUTICOS EN LA ERA DE LA BIOTECNOLOGIA

## FROM LABORATORY TO TABLE: THE JOURNEY OF FUNCTIONAL AND NUTRACEUTICAL FOODS IN THE ERA OF BIOTECHNOLOGY

Apresentação: Comunicação Oral

Maria Luiza de Lima Vitorino<sup>1</sup>, Ana Gabriela Santos<sup>2</sup>, Lucas Brayner Santos<sup>3</sup>, Makyson Roberto Silva Leal<sup>4</sup>

DOI: <https://doi.org/10.31692/VCIAGRO.0066>

### RESUMO

O crescente entendimento da contribuição direta da alimentação na saúde do homem é responsável por incentivar a adoção de uma abordagem mais criteriosa em relação à nutrição, resultando no interesse por alimentos que possuem componentes que ajam sobre os sistemas fisiológicos e metabólicos do organismo de forma positiva. O objetivo deste estudo é apresentar uma revisão bibliográfica integrativa sobre alimentos funcionais e nutracêuticos, visando explorar suas definições e atuais aplicações da biotecnologia na obtenção destes produtos, buscando trazer os mais importantes avanços e impactos. Este estudo foi elaborado através do método de revisão integrativa com a busca, avaliação e descrição das evidências disponíveis sobre o tema abordado. A aplicação e integralização da biotecnologia na produção de alimentos funcionais e nutracêuticos configura uma jornada promissora e revolucionária na indústria alimentícia, oferecendo melhorias significativas na saúde ao ser capaz de proporcionar maior efetivação nas formas de prevenir doenças. À medida que continuamos a explorar as fronteiras da biotecnologia alimentar, é essencial equilibrar a inovação com a proteção dos direitos e da saúde dos consumidores, de modo que exista continuamente a implementação de políticas regulatórias robustas que garantam a segurança dos alimentos e a privacidade dos dados genéticos, além de promover a educação dos consumidores sobre os benefícios e limitações dos alimentos funcionais e nutracêuticos. Somente assim será possível promover uma alimentação mais saudável, personalizada e ética, que atenda às necessidades e expectativas de uma sociedade cada vez mais consciente e exigente quanto à sua saúde e bem-estar.

**Palavras-Chave:** compostos bioativos, bioprocesso, bem-estar, nutrição, ética

### RESUMEN

La comprensión creciente de la contribución directa de la alimentación a la salud humana es responsable de fomentar un enfoque más meticuloso hacia la nutrición, resultando en un interés por alimentos que tienen componentes que actúan sobre los sistemas fisiológicos y metabólicos del organismo de manera positiva. El objetivo de este estudio es presentar una revisión bibliográfica integradora sobre alimentos funcionales y nutracéuticos, con el fin de explorar sus definiciones y aplicaciones actuales de la biotecnología en la obtención de estos productos, buscando destacar los avances e impactos más importantes. Este estudio se realizó mediante el método de revisión integradora con la búsqueda, evaluación y descripción de la evidencia disponible sobre el tema abordado. La aplicación e integración de la biotecnología en la producción de alimentos funcionales y nutracéuticos constituye un viaje prometedor y revolucionario en la industria alimentaria, ofreciendo mejoras significativas en la salud al poder proporcionar una mayor efectividad en las formas de prevenir enfermedades.

<sup>1</sup> Pós-Graduação em Biologia Aplicada à Saúde, Universidade Federal de Pernambuco, [luiza.vitorino@ufpe.br](mailto:luiza.vitorino@ufpe.br)

<sup>2</sup> Graduação em Nutrição, Universidade Federal de Pernambuco, [gabriela.santos3@ufpe.br](mailto:gabriela.santos3@ufpe.br)

<sup>3</sup> Graduação em Nutrição, Universidade Federal de Pernambuco, [lucasbrayner.santos@ufpe.br](mailto:lucasbrayner.santos@ufpe.br)

<sup>4</sup> Doutorando em Biologia Aplicada à Saúde, Universidade Federal de Pernambuco [makyson.leal@ufpe.br](mailto:makyson.leal@ufpe.br)

A medida que continuamos explorando las fronteras de la biotecnología alimentaria, es esencial equilibrar la innovación con la protección de los derechos y la salud de los consumidores, asegurando la implementación continua de políticas regulatorias robustas que garanticen la seguridad alimentaria y la privacidad de los datos genéticos, además de promover la educación de los consumidores sobre los beneficios y limitaciones de los alimentos funcionales y nutraceuticos. Solo así será posible promover una alimentación más saludable, personalizada y ética, que satisfaga las necesidades y expectativas de una sociedad cada vez más consciente y exigente en cuanto a su salud y bienestar.

**Palabras Clave:** compuestos bioactivos, bioproceso, bienestar, nutrición, ética

## ABSTRACT

The growing understanding of the direct contribution of diet to human health is responsible for encouraging a more meticulous approach to nutrition, resulting in interest in foods that have components that positively affect the body's physiological and metabolic systems. The objective of this study is to present an integrative literature review on functional foods and nutraceuticals, aiming to explore their definitions and current applications of biotechnology in obtaining these products, seeking to highlight the most important advances and impacts. This study was conducted through the integrative review method with the search, evaluation, and description of the available evidence on the topic addressed. The application and integration of biotechnology in the production of functional foods and nutraceuticals constitute a promising and revolutionary journey in the food industry, offering significant health improvements by being able to provide greater effectiveness in disease prevention methods. As we continue to explore the frontiers of food biotechnology, it is essential to balance innovation with the protection of consumer rights and health, ensuring the continuous implementation of robust regulatory policies that guarantee food safety and genetic data privacy, as well as promoting consumer education about the benefits and limitations of functional and nutraceutical foods. Only in this way will it be possible to promote a healthier, more personalized, and ethical diet that meets the needs and expectations of a society that is increasingly conscious and demanding regarding its health and well-being.

**Keywords:** bioactive compounds, bioprocess, wellness, nutrition, ethics

## INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da humanidade a alimentação se faz presente desempenhando um papel ímpar e central na sobrevivência e desenvolvimento das civilizações (Kopruszynski & Marin, 2012). Sendo essencial à vida desde o nascimento, é da alimentação de onde os seres humanos são capazes de retirar nutrientes necessários ao funcionamento do organismo (Williot & Fumey, 2023). À medida com que houve a evolução da sociedade, a dieta humana também passou por transformações ocasionadas por fatores culturais, econômicos e científicos (Abreu *et al.* 2001; Kopruszynski & Marin, 2012).

Nos países desenvolvidos, as dietas ricas em calorias têm tomado o lugar de dietas mais tradicionais, como a dieta mediterrânea; a conexão entre o estado nutricional e a saúde tem levantado preocupações sobre os efeitos prejudiciais associados ao consumo excessivo de gorduras e açúcares, que contribuem para um aumento na prevalência de doenças crônicas, como diabetes e obesidade (Aguillera, 2020; Ibañes & Cifuentes, 2013). Isso tem levado a uma maior compreensão da ligação entre nutrição e bem-estar.

O crescente entendimento da contribuição direta da alimentação na saúde do homem - bem como na prevenção de determinadas doenças -, é responsável por incentivar os consumidores a

adotarem uma abordagem mais criteriosa em relação à nutrição, resultando no interesse por alimentos que possuem componentes que ajam sobre os sistemas fisiológicos e metabólicos do organismo de forma positiva (Teodoro *et al.* 2021), como é o caso dos alimentos funcionais e nutracêuticos.

Os alimentos funcionais e nutracêuticos destacam-se por representar uma evolução significativa no campo da nutrição (Costa & Rosa, 2016). Os alimentos funcionais são definidos como aqueles que agregam benefícios à saúde ao serem ingeridos em quantidades de consumo normais em uma dieta (Barbosa *et al.* 2021). Em contraste, os alimentos nutracêuticos, entende-se como sendo aqueles que fornecem benefícios medicinais com finalidade preventiva (Dos Santos *et al.* 2019; Barbosa *et al.* 2021).

Embora os termos alimentos funcionais e nutracêuticos sejam frequentemente usados como sinônimos, é importante notar que, assim como os alimentos tradicionais, os alimentos funcionais são projetados para serem consumidos regularmente como parte de uma dieta balanceada (Bertholini *et al.* 2014). Por sua vez, esses alimentos possuem componentes bioativos em sua composição que têm a capacidade de exercer funções fisiológicas específicas, além das funções nutricionais básicas (Martirosyan & Miller, 2018; Konstantinidi & Koutelidakis, 2019). Já os alimentos nutracêuticos são compostos bioativos isolados ou purificados de alimentos, comercializados em formas farmacêuticas, geralmente sem associação à alimentação - como suplementos -, e proporcionando benefícios à saúde apesar de consumidos em concentrações significativamente mais altas do que aquelas obtidas através da dieta regular (Teodoro *et al.* 2021).

Neste cenário, as empresas do setor alimentício estão investindo cada vez mais no desenvolvimento de produtos inovadores e com benefícios adicionais à saúde (Shetty & Sarkar, 2020). Como uma das principais ferramentas empregadas para o desenvolvimento desses produtos, a biotecnologia tem se revelado um recurso valioso para a criação de novas tendências na alimentação (Freitas *et al.* 2012). A biotecnologia configura a utilização de processos, organismos ou sistemas biológicos para produção de produtos e serviços que agreguem de forma positiva economicamente ou socialmente (Faleiro *et al.* 2011). Nesta perspectiva, ela tem desempenhado um papel crucial no avanço da ciência dos alimentos funcionais e nutracêuticos.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo é apresentar uma revisão bibliográfica integrativa sobre alimentos funcionais e nutracêuticos, visando explorar suas definições bem como quais são as atuais aplicações da biotecnologia na obtenção destes produtos, buscando trazer os mais importantes avanços e quais são os impactos gerados, uma vez que a crescente demanda por alimentos saudáveis e a conscientização sobre a nutrição tornam este tema de grande relevância, refletindo a necessidade de um entendimento aprofundado das inovações e implicações da biotecnologia na alimentação moderna.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### COMPONENTES FUNCIONAIS

Os componentes funcionais caracterizam-se por serem substâncias bioativas presentes em alimentos que, além de cumprirem com sua função nutricional básica, também desempenham ações benéficas à saúde (Figueiredo & Carvalho, 2015). Dentre estes componentes, pode-se citar as fibras dietéticas, vitaminas, minerais, ácidos graxos, probióticos, prebióticos, antioxidantes e peptídeos bioativos (Costa & Rosa, 2016).

Acredita-se que a descoberta e reconhecimento dos compostos bioativos como agentes benéficos para a saúde ocorreu por volta de 1750 com o experimento realizado pelo médico da marinha britânica James Lind. O estudo de Lind intitulado “*The Treatise of the Scurvy*” descreve suas observações e experimentos com frutas cítricas no tratamento do escorbuto (Teixeira, 2011). A substância responsável pela prevenção do escorbuto, posteriormente identificada como ácido ascórbico (vitamina C), foi isolada em 1928 e inicialmente denominada de "ácido hexurônico". Posteriormente, em 1932, Charles Glen King demonstrou que o ácido hexurônico era eficaz na prevenção do escorbuto, confirmando que se tratava da vitamina C (King & Waugh, 1932).

O reconhecimento dos componentes funcionais como agentes benéficos à saúde ocorreu ao longo do século XX, a partir de avanços significativos no estudo e compreensão dos mesmos (Piccirillo & Amaral, 2018). Hoje, por exemplo, sabe-se que os ácidos graxos ômega-3 encontrados em peixes e sementes de linhaça possuem associação com a redução do risco de doenças cardiovasculares (Von Schacky & Harris, 2007) e que probióticos, presentes em alimentos fermentados, ajudam a manter o equilíbrio da microbiota intestinal e melhoram a saúde digestiva (Abatenh, 2018). Assim como os polifenóis, encontrados em frutas e vegetais, ajudam a neutralizar radicais livres e reduzir estresse oxidativo (Urquiaga & Leighton, 2000).

inflamatórias

<b>Componente Funcional</b>	<b>Propriedades Antioxidantes</b>	<b>Efeitos Anti-Inflamatório</b>	<b>Referência</b>
Probiótico	Produção de substâncias antioxidantes como peróxido de hidrogênio e ácidos orgânicos	Modulação da resposta imune e redução de inflamação intestinal.	Wang <i>et al.</i> 2017; Cristofori <i>et al.</i> 2021
Fibras Solúveis	Redução do estresse oxidativo ao melhorar a saúde geral do intestino; ligação com radicais livres	Modulação da microbiota intestinal e redução da inflamação sistêmica.	Chen & Vitetta, 2018
Ácidos Graxos Ômega-3	Redução da peroxidação lipídica	Redução de citocinas inflamatórias e modulação da resposta imune	Kang & Weylandt, 2008; Giordano & Visioli, 2014
Peptídeos	Captura de radicais livres e prevenção da oxidação de lipídios	Redução da pressão arterial e inflamação; Inibição de enzimas como ACE e redução da pressão arterial.	Elias <i>et al.</i> 2008; Majumder <i>et al.</i> 2016; Guha & Majumder, 2019
Vitaminas	Vitamina C e E neutralizam radicais livres e regeneram outras vitaminas antioxidantes	Participação na modulação de respostas inflamatórias	Reifen, 2002; Padayatty <i>et al.</i> 2003
Minerais	Zinco e selênio são cofatores de enzimas antioxidantes (superóxido dismutase e glutathiona peroxidase)	Regulação de processos inflamatórios ao nível celular	Catania <i>et al.</i> 2009; De Castilho & Ornellas, 2014

Fonte: Própria (2024).

Nesta perspectiva, a biotecnologia tem desempenhado um papel crucial na otimização e aumento da disponibilidade de componentes funcionais nos alimentos (Shetty & Sarkar, 2020).

## ALIMENTOS FUNCIONAIS E NUTRACÊUTICOS

O termo alimentos funcionais foi introduzido pela primeira vez no Japão em torno de 1980,

descrevendo alimentos que, além de prover nutrição essencial, eram incorporados em dietas e demonstravam benefícios fisiológicos ou redução do risco de doenças crônicas (Costa & Rosa, 2016). Apesar disso, não há uma definição unificada para alimentos funcionais (Tabela 1) que seja reconhecida globalmente por todas as autoridades regulatórias.

No Brasil, por exemplo, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) caracteriza um alimento com propriedades funcionais como “aquele que é capaz de regular as funções metabólicas e fisiológicas do organismo, auxiliando na manutenção geral da saúde e na prevenção de doenças”. Sendo, portanto, seguros o suficiente para serem consumidos sem supervisão médica.

O termo “nutracêutico”, por sua vez, foi introduzido pela Fundação de Inovação em Medicina em 1989, nos Estados Unidos (Rane *et al.* 2021). Ao contrário dos alimentos funcionais, os nutraceuticos são substâncias bioativas isoladas com ação metabólica ou fisiológica específica, obtidas a partir de fontes alimentares naturais ou sintética (RDC, 2002). Vale salientar ainda que, ao contrário do que se pensa, os nutracêuticos não podem ter finalidade medicamentosa ou terapêutica (RDC, 2002).

A principal diferença entre alimentos funcionais e nutracêuticos diz respeito a sua destinação; enquanto os alimentos funcionais podem ser consumidos como parte de uma dieta convencional, e que proporcionam efeitos benéficos à saúde, não podem ser confundidos com nutracêuticos, que são consumidos em doses mais altas e concentradas (RDC, 2002).

**Tabela 02:** Diferenças entre alimentos funcionais e nutracêuticos

<b>Característica</b>	<b>Alimentos Funcionais</b>	<b>Alimentos Nutracêuticos</b>
Forma de consumo	Parte da dieta regular	Suplemento
Função	Benefícios adicionais à saúde	Benefícios à saúde e propriedades medicinais
Exemplos	Iogurte com probióticos, aveia, peixes ricos em ômega-3	Cápsulas de óleo de peixe, extrato de chá verde, pó de proteína
Doses	Consumidos de porções regulares de alimento	Doses específicas e concentradas

Fonte: Própria (2024)

É válido destacar que a importância dos alimentos funcionais e nutracêuticos tem crescido significativamente devido à conscientização sobre a relação entre dieta e saúde (Shahidi & Ambigaipalan, 2015). Estudos epidemiológicos e clínicos foram capazes de demonstrar que uma dieta

rica em alimentos funcionais pode reduzir o risco de várias doenças crônicas, incluindo doenças cardiovasculares, diabetes tipo 2, obesidade e certos tipos de câncer (Liu, 2003). Além disso, a ingestão de alimentos funcionais e nutracêuticos têm demonstrado efeitos positivos na modulação do sistema imunológico, melhoria da saúde gastrointestinal e redução da inflamação sistêmica (Roberfroid, 2000).

## BIOTECNOLOGIA ALIMENTAR

Biотecnologia alimentar pode ser compreendida como um campo multidisciplinar que aplica princípios e técnicas da biotecnologia para melhorar a produção, qualidade, segurança e valor nutricional dos alimentos (Lee, 2014). Essa área envolve o uso de organismos vivos, ou sistemas biológicos, para desenvolver ou modificar produtos alimentícios e envolve uma ampla quantidade de técnicas, desde a fermentação tradicional, até a engenharia genética moderna (Thompson *et al.* 2007; Lee, 2014).

Os processos biotecnológicos utilizados para aprimorar culturas de microrganismos no processamento de alimentos são componentes essenciais da chamada "biotecnologia tradicional" e incluem métodos clássicos de melhoramento genético, como mutagênese e conjugação (Battcock & Azam-Ali, 1998; Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011; Nissar *et al.*, 2017, Teodoro *et al.* 2021). Em contrapartida, a aplicação da tecnologia de DNA recombinante para a modificação de organismos alvo, permitindo a inserção de genes de interesse, configura a "biotecnologia moderna" (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011; Charlebois, 2019; Teodoro *et al.* 2021).

É fundamental destacar que a biotecnologia alimentar não se limita apenas a criação de Organismos Geneticamente Modificados (OGMs), mas também inclui a produção de enzimas, cultivos celulares e microrganismos benéficos utilizados na fermentação e conservação de alimentos (Knorr & Sinskey, 1985).

Entende-se por OGMs organismos cujo material genético foi alterado de uma maneira que não ocorre naturalmente, frequentemente através da inserção de genes de outras espécies (World Health Organization, 2014). Em contraste, outras formas de biotecnologia alimentar, como a fermentação ou a utilização de enzimas recombinantes, não necessariamente alteram o material genético do alimento final, mas sim utilizam processos biológicos para melhorar a produção ou características do alimento (Knorr & Sinskey, 1985). Por exemplo, a fermentação, uma das formas mais antigas de biotecnologia, utiliza microrganismos para transformar açúcares em ácido láctico, álcool ou outros compostos, melhorando a conservação e o valor nutricional dos alimentos (Raihofer, 2022).

Somado a isso, é válido destacar ainda que, além de fundamental, os alimentos obtidos por técnicas de DNA recombinante passam por rigorosos mecanismos de avaliação de segurança antes de serem comercializados. Esses mecanismos incluem diversos testes como os de equivalência composicional em relação ao alimento natural, avaliações toxicológicas, potencial alergênico e análises de possíveis efeitos colaterais, além de monitoramento epidemiológico após a introdução do produto no mercado (Ahmed, 2003; Dadgarnejad, Kouser & Moslemi, 2017; Charlebois *et al.* 2019, Teodoro *et al.* 2021). Nesta perspectiva, este campo multidisciplinar tem se relacionado também na melhoria de alimentos funcionais e obtenção de nutracêuticos.

## **METODOLOGIA**

O presente estudo trata-se de uma pesquisa bibliográfica, elaborada através do método de revisão integrativa, apresentando uma natureza qualitativa, e a qual permite a busca, avaliação e descrição das evidências disponíveis sobre o tema abordado.

Os artigos foram selecionados a partir de buscas nas bases de dados eletrônicas: *Web of Science*, *PubMed*, *Science Direct* e *Scielo* e no site de busca *Google Acadêmico*. Os descritores utilizados na busca literária foram “desenvolvimento de alimentos”, “alimentos funcionais”, “biotecnologia”, “nutracêuticos”, “compostos bioativos”, “compostos funcionais” e os operadores booleanos “AND”.

Incluíram-se na busca estudos publicados entre 2010 e 2024, nos idiomas inglês, português e espanhol. Os artigos que apresentavam os tópicos em questão como citação ou referência foram desconsiderados.

Todas as informações relevantes obtidas pela leitura dos estudos foram registradas durante e logo após o término de cada artigo de modo que, logo em seguida, fosse realizada a análise e elaboração dos resultados e discussão.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A aplicação e integralização da biotecnologia na produção de alimentos funcionais e nutracêuticos configura uma jornada promissora e revolucionária na indústria alimentícia, oferecendo melhorias significativas na saúde ao ser capaz de proporcionar maior efetivação nas formas de prevenir doenças (Teodoro *et al.* 2021). Contudo, para analisar como a biotecnologia atua na obtenção desses alimentos, é indispensável analisar fatores como os mecanismos de ação dos componentes bioativos e funcionais até os desafios regulatórios associados ao seu desenvolvimento e

comercialização.

Os mecanismos de ação dos compostos funcionais presentes nos alimentos funcionais e nutracêuticos destacam-se pela sua diversidade e complexidade, o que reflete a ampla capacidade de benefícios que esses compostos podem proporcionar ao organismo (Figueiredo & Carvalho, 2015; Tanaka, 2023). Antioxidantes e compostos fenólicos atuam neutralizando radicais livres e reduzindo o estresse oxidativo, fatores considerados chaves no desenvolvimento de doenças crônicas e neurodegenerativas (Barbosa *et al.* 2010; Rojas & Buitrago, 2019). Os compostos fenólicos têm, ainda, gerado grande interesse ao se mostrarem capazes de modular vias de sinalização celular, resultando em efeitos anti-inflamatórios e anticancerígenos (Costa *et al.* 2012; Valente, 2015; Lewandowska *et al.* 2016). Ademais, grupos ômega-3, presentes em peixes oleosos, possuem efeitos considerados benéficos ao organismo, uma vez que atuam na modulação e sinalização celular gerando respostas anti-inflamatórias (Wall *et al.* 2010; Calder, 2015). Nesta perspectiva, a biotecnologia atua de forma crucial na otimização e amplificação desses efeitos bioativos, uma vez que técnicas avançadas de engenharia biotecnológica permitem a formulação de alimentos funcionais com concentrações aumentadas destes compostos benéficos (Rai *et al.* 2021; Teodoro *et al.* 2021); é o caso da fortificação de alimentos com ácidos graxos ômega-3 ou de biofortificação de plantas com antioxidantes e vitaminas (Locato *et al.* 2013; Feizollahi *et al.* 2018).

Ainda sob este viés, uma das técnicas biotecnológicas utilizadas visando o desenvolvimento e melhoria dos alimentos funcionais e nutracêuticos é o encapsulamento (Chew *et al.* 2019). O encapsulamento é fundamental para proteger os compostos funcionais durante o processamento dos alimentos de modo a garantir uma liberação controlada no trato gastrointestinal (Barroso *et al.* 2020). Existem diversas técnicas utilizadas para o encapsulamento alimentício, variando a depender da sua finalidade, e a biotecnologia tem desenvolvido um papel essencial no desenvolvimento destas e de novas técnicas de encapsulamento e sistemas de liberação, como é o caso de algumas nanopartículas lipídicas sólidas (NLS) que estão sendo desenvolvidas com estruturas mais complexas para melhorar a estabilidade de substâncias bioativas hidrofílicas (McClements, 2018). Desse modo, a combinação entre encapsulamento e biotecnologia promove a proteção dos ingredientes funcionais durante o armazenamento, proporcionam a liberação controlada no organismo e potencializa as funcionalidades e benefícios dos alimentos funcionais (Pateiro *et al.* 2021).

Outra abordagem biotecnológica na produção de alimentos funcionais e nutracêuticos diz respeito ao uso de RNA interference (RNAi) para modular a expressão gênica em plantas e microrganismos, representando uma das abordagens mais inovadoras (Bhawna *et al.* 2023). Somado a isso, hoje sabe-se que, por meio de técnicas de biologia molecular, é possível inserir RNAm's que codificam proteínas de interesse, promovendo a produção de compostos bioativos ou nutrientes

específicos (Zhou & Li, 2023).

Além disso, a biotecnologia baseada em RNAm pode ser combinada com outras tecnologias emergentes, como CRISPR-Cas9, para fornecer um controle ainda mais preciso sobre a expressão gênica e a produção de compostos bioativos (Ma *et al.* 2023). Esses avanços refletem o potencial da biotecnologia em aprimorar a funcionalidade dos alimentos, oferecendo produtos com benefícios à saúde otimizados e dirigidos.

Diante desta narrativa, o processamento de alimentos desempenha um papel crucial na preservação e modificação da funcionalidade dos ingredientes e compostos bioativos presentes nos alimentos funcionais. Diferentes métodos de processamento, como pasteurização, fermentação, secagem e encapsulamento, influenciam diretamente a estabilidade e a biodisponibilidade de nutrientes essenciais. Por exemplo, a pasteurização, embora eficiente na eliminação de patógenos, pode causar a degradação de vitaminas termossensíveis como a vitamina C e alguns polifenóis, reduzindo sua atividade antioxidante (Mphaehlele *et al.* 2016; Giannakourou *et al.* 2021). Neste cenário, a biotecnologia avança cada vez mais na busca por soluções para minimizar os efeitos negativos destes processamentos sobre os compostos bioativos. Técnicas como a encapsulamento de nutrientes em matrizes biopoliméricas podem proteger compostos sensíveis durante o processamento térmico e melhorar sua liberação controlada no organismo (Zabot *et al.* 2022).

O desenvolvimento de alimentos funcionais personalizados, utilizando informações genômicas e microbiômicas individuais, representa uma revolução na nutrição graças aos avanços da biotecnologia (German *et al.* 2011; Wang *et al.* 2022). A análise do genoma de um indivíduo permite identificar variantes genéticas que influenciam a resposta metabólica a diferentes nutrientes, facilitando a criação de alimentos que podem otimizar a saúde e prevenir doenças específicas (Szilagyí & Ishayek, 2018; Anguita-Ruiz *et al.* 2020). Pessoas com variantes genéticas associadas à intolerância à lactose podem se beneficiar de laticínios enriquecidos com lactase ou pessoas com uma predisposição genética para deficiências vitamínicas podem se beneficiar de alimentos fortificados com níveis otimizados desses nutrientes (Szilagyí & Ishayek, 2018; Anguita-Ruiz *et al.* 2020). Esses alimentos personalizados além de aumentarem a eficiência nutricional, também promovem a saúde geral, oferecendo soluções dietéticas baseadas nas características únicas de cada indivíduo.

A nutrigenômica, que investiga como os nutrientes influenciam e modificam a expressão gênica, é responsável por desempenhar um papel crucial no avanço e personalização dos alimentos funcionais. Este campo permite uma melhor compreensão de como os compostos alimentares influenciam nas rotas metabólicas, oferecendo oportunidades para criar alimentos que atendam às necessidades específicas de indivíduos com base em seu perfil genético (German *et al.*, 2011). Por exemplo, polimorfismos genéticos podem afetar a absorção e metabolismo de vitaminas e minerais,

sugerindo que pessoas com variações genéticas específicas poderiam se beneficiar de alimentos funcionais fortificados ou modificados para otimizar a ingestão desses nutrientes (German et al. 2011; Wang et al. 2022). A biotecnologia se mostra mais uma vez essencial ao possibilitar a modificação de alimentos para conter níveis ajustados de compostos bioativos dependendo da necessidade de cada organismo.

**Tabela 3:** Exemplos de técnicas e metodologias biotecnológicas na obtenção de alimentos na atualidade

<b>Técnica</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Aplicação</b>	<b>Alimento</b>	<b>Referência</b>
Engenharia Genética	Transgenia	Introdução de genes específicos para produção de compostos bioativos	Arroz	Ye et al. 2000
RNA Interference (RNAi)	Silenciamento de genes	Uso de RNAi para silenciar genes responsáveis pela degradação de nutrientes	Tomate	Davuluri et al. 2005
Biofortificação	Seleção genética	Seleção e cruzamento de plantas com altos níveis de nutrientes	Batata-doce	Bouis et al. 2011
Trasformação	Transformação mediada por <i>Agrobacterium</i>	Introdução de genes através de <i>Agrobacterium tumefaciens</i>	Milho	Cao et al. 2014
Encapsulamento	Nanoencapsulação	Encapsulação de compostos bioativos para melhorar a estabilidade e biodisponibilidade	Óleo de peixe	Walia et al. 2017
Fermentação	Fermentação controlada	Uso de cepas microbianas modificadas para aumentar a produção de probióticos	Iogurte, Kefir	Kok & Hutkins, 2018
Crispr-Cas9	Mutagênese sítio dirigida	Edição de genes para aumentar a produção de compostos específicos	Soja	Niu et al. 2020

Fonte: Própria (2024)

Contudo, é importante destacar que o desenvolvimento e a comercialização de alimentos funcionais personalizados enfrentam diversos desafios regulatórios e éticos, especialmente no que diz

respeito à privacidade genômica, rotulagem de alimentos e responsabilidade do consumidor. A coleta e utilização de dados genéticos individuais para personalizar alimentos requerem rigorosos padrões de confidencialidade (Reilly & Debusk, 2008). Além disso, a rotulagem desses alimentos deve ser clara e informativa, permitindo que os consumidores tomem decisões conscientes e bem-informadas sobre os produtos que consomem (Reilly & Debusk, 2008). Ao abordar esses desafios, a biotecnologia pode contribuir para um ambiente regulatório equilibrado, que favoreça tanto a inovação quanto a proteção do consumidor.

A associação entre alimentação e saúde mental vem sendo abordada com maior frequência nos últimos anos, de modo a existir uma relação estreita entre ambos (Torres, 2022). Nesta perspectiva, o uso de alimentos funcionais tem se mostrado promissor também na melhoria da saúde mental, oferecendo uma abordagem complementar ao tratamento convencional de distúrbios psicológicos (Lopresti *et al.* 2013). Deste modo, estudos indicam que determinados nutrientes, como grupos ômega-3 e ômega-6, antioxidantes, vitaminas do complexo B e probióticos, conseguem influenciar positivamente tanto no mental quanto no emocional, uma vez que são capazes de interferir na modulação de processos inflamatórios e neuroplasticidade (Grosso *et al.* 2014; Suganya & Koo, 2020; Bistas & Tabet, 2021). Somado a isso, é de conhecimento geral que antioxidantes encontrados nesses alimentos, como polifenóis e flavonóides, apresentam um papel ímpar na proteção contra o estresse oxidativo e inflamação cerebral, fatores que estão associados no desenvolvimento de doenças neurodegenerativas (Singh *et al.* 2019). Ainda sob este viés, a ingestão de alimentos contendo probióticos, como kefir e kombucha, e prebióticos, gera a promoção de uma microbiota saudável, o que tende a levar a uma produção aumentada de substâncias neuroativas, ocasionando benefícios no alívio dos sintomas de depressão e na síndrome da fadiga crônica (Dinan *et al.* 2013; Anunciação, 2021; Gaspar 2022).

Sendo assim, fica claro que a incorporação regular e balanceada de alimentos funcionais em uma dieta contribui na manutenção da saúde mental e física e na prevenção destas, de modo que a biotecnologia se torna uma aliada e instrumento chave ao permitir o enriquecimento desses alimentos com esses compostos bioativos de maneira mais eficaz e precisa.

## CONCLUSÕES

É notório que os alimentos funcionais e nutracêuticos estão ganhando cada vez mais destaque devido ao seu potencial na promoção da saúde e bem-estar. Nesta perspectiva, a aplicação de técnicas avançadas de biotecnologia tem revolucionado a maneira como estes alimentos e suplementos são desenvolvidos, permitindo a incorporação de componentes bioativos que desempenham funções específicas no organismo, como atividade antioxidante.

Somado a isso, a integração da nutrigenômica e da biotecnologia permite a personalização dos alimentos funcionais e nutracêuticos, adaptando-os às necessidades genômicas e microbiômicas individuais, o que pode resultar em intervenções nutricionais mais eficazes e precisas. No entanto, esses avanços tecnológicos trazem consigo desafios regulatórios e éticos que necessitam de atenção cuidadosa para garantir a segurança e a transparência para os consumidores.

À medida que continuamos a explorar as fronteiras da biotecnologia alimentar, é essencial equilibrar a inovação com a proteção dos direitos e da saúde dos consumidores, de modo que exista continuamente a implementação de políticas regulatórias robustas que garantam a segurança dos alimentos e a privacidade dos dados genéticos, além de promover a educação dos consumidores sobre os benefícios e limitações dos alimentos funcionais e nutracêuticos.

Somente assim será possível promover uma alimentação mais saudável, personalizada e ética, que atenda às necessidades e expectativas de uma sociedade cada vez mais consciente e exigente quanto à sua saúde e bem-estar.

## REFERÊNCIAS

- ABATENH, Endeshaw *et al.* Health benefits of probiotics. **J Bacteriol Infec Dis**, v. 2, n. 1, 2018.
- ABREU, Edeli Simioni de *et al.* Alimentação mundial: uma reflexão sobre a história. **Saúde e sociedade**, v. 10, p. 3-14, 2001.
- AGUILLERA, J. M. The concept of alimentation and transdisciplinary research. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 101, n. 5, p. 1727-1731, 2020.
- AHMED, F. E. Genetically modified probiotics in foods. *Trends in Biotechnology*, v. 21, n. 11, p. 491-497, 2003.
- ANGUITA-RUIZ, Augusto; AGUILERA, Concepción M.; GIL, Ángel. Genetics of lactose intolerance: an updated review and online interactive world maps of phenotype and genotype frequencies. **Nutrients**, v. 12, n. 9, p. 2689, 2020.
- ANUNCIACÃO, Talita Andrade da. Análise comparativa de Kefir e Kombucha com potencial probiótico e funcional: inovação, saúde e mercado. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal da Bahia. Faculdade de Farmácia, 2021
- BARBOSA, Kiriaque Barra Ferreira *et al.* Estresse oxidativo: conceito, implicações e fatores modulatórios. **Revista de nutrição**, v. 23, p. 629-643, 2010.
- BARBOSA, Sandy Moté *et al.* USO DE ALIMENTOS FUNCIONAIS E NUTRACEUTICOS NA ESTIMULAÇÃO DO SISTEMA IMUNOLÓGICO: FARMACEUTICO COMO PROMOTOR DA SAÚDE. **Cadernos Camilliani e-ISSN: 2594-9640**, v. 18, n. 4, p. 3398-3411, 2021.

BARROSO, Tiago Linhares Cruz Tabosa. Tecnologia de encapsulamento na área de alimentos: Uma revisão. 2020.

BATTCKOCK, Mike; AZAM-ALI, Sue. **Fermented fruits and vegetables: a global perspective**. Food & Agriculture Org., 1998.

BERTHOLINI, Celina *et al.* ALIMENTOS FUNCIONAIS. **REVISTA DE TRABALHOS ACADÊMICOS-CAMPUS NITERÓI**, 2014.

BHAWNA *et al.* RNA Interference for Improvement of Bioactive Compound Production in Plants. In: **Biosynthesis of Bioactive Compounds in Medicinal and Aromatic Plants: Manipulation by Conventional and Biotechnological Approaches**. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023. p. 119-137.

BISTAS, Karlyle G.; TABET, Jean Paul. The Benefits of Prebiotics and Probiotics on Mental Health. **Cureus**, v. 15, n. 8, 2023.

BOREM, Aluizio; COSTA, Neuza Maria Brunoro. **Biotecnologia e nutrição**. NBL Editora, 2010.

BOUIS, Howarth E. *et al.* Biofortification: a new tool to reduce micronutrient malnutrition. **Food and nutrition bulletin**, v. 32, n. 1, p. S31-S40, 2011.

CALDER, Philip C. Marine omega-3 fatty acids and inflammatory processes: Effects, mechanisms and clinical relevance. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular and Cell Biology of Lipids**, v. 1851, n. 4, p. 469-484, 2015.

CAO, Shi-liang *et al.* Agrobacterium tumefaciens-mediated transformation of corn (*Zea mays* L.) multiple shoots. **Biotechnology & Biotechnological Equipment**, v. 28, n. 2, p. 208-216, 2014.

CATANIA, Antonela Siqueira; BARROS, Camila Risso de; FERREIRA, Sandra Roberta G. Vitaminas e minerais com propriedades antioxidantes e risco cardiometabólico: controvérsias e perspectivas. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia**, v. 53, p. 550-559, 2009.

CAVALLI, Suzi Barletto. Segurança alimentar: a abordagem dos alimentos transgênicos. **Revista de Nutrição**, v. 14, p. 41-46, 2001.

CHARLEBOIS, S.; SOMOGYI, S.; MUSIC, J.; CUNNINGHAM, C. Biotechnology in food: Canadian attitudes towards genetic engineering in both plant- and animal-based foods. **British Food Journal**, v. 121, n. 12, p. 3181-3192, 2019.

CHEN, Jiezhong; VITETTA, Luis. Inflammation-modulating effect of butyrate in the prevention of colon cancer by dietary fiber. **Clinical colorectal cancer**, v. 17, n. 3, p. e541-e544, 2018.

CHEW, Sook-Chin *et al.* Tecnologias de encapsulamento: uma ferramenta para o desenvolvimento de alimentos funcionais. **Revista Internacional de Tecnologia Inovadora e Engenharia de Exploração**, v. 5, pág. 154-162, 2019.

COSTA, G. *et al.* Intracellular signaling pathways modulated by phenolic compounds: application for new anti-inflammatory drugs discovery. **Current medicinal chemistry**, v. 19, n. 18, p. 2876-2900, 2012.

COSTA, Neuza Maria Brunoro; ROSA, Carla de Oliveira Barbosa. **Alimentos funcionais: componentes bioativos e efeitos fisiológicos**. Editora Rubio, 2016.

CRISTOFORI, Fernanda *et al.* Anti-inflammatory and immunomodulatory effects of probiotics in gut inflammation: a door to the body. **Frontiers in immunology**, v. 12, p. 578386, 2021.

DADGARNEJAD, M.; KOUSER, S.; MOSLEMI, M. Genetically modified foods: promises, challenges and safety assessments. *Applied Food Biotechnology*, v. 4, n. 4, p. 193-202, 2017.

DALLA COSTA, Filipe Antonio *et al.* Enriquecimento com ácidos graxos da série ômega 3 em carne de aves e ovos. **PubVet**, v. 11, p. 103-206, 2016.

DA SILVA, Vania Santos; ORLANDELLI, Ravelly Casarotti. Desenvolvimento de alimentos funcionais nos últimos anos: uma revisão. **Revista Uningá**, v. 56, n. 2, p. 182-194, 2019.

DAVULURI, Ganga Rao *et al.* Fruit-specific RNAi-mediated suppression of DET1 enhances carotenoid and flavonoid content in tomatoes. **Nature biotechnology**, v. 23, n. 7, p. 890-895, 2005.

DE CASTILHO, Rosângela Souza; ORNELLAS, Fabio Henrique. Zinco, inflamação e exercício físico: relação da função antioxidante e anti-inflamatória de Zinco no sistema imune de atletas de alto rendimento. **RBPFEEX-Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício**, v. 8, n. 48, 2014.

DOS SANTOS, Julia Rodrigues Martins Pastor; ALBERT, André Luis Mazzei; LEANDRO, Katia Christina. Importância de uma regulamentação específica com as definições e classificações dos produtos comercializados como suplementos alimentares, alimentos funcionais e nutracêuticos. **Revista de Direito Sanitário**, v. 19, n. 3, p. 54-67, 2019.

DINAN, Timothy G.; STANTON, Catherine; CRYAN, John F. Psychobiotics: a novel class of psychotropic. **Biological psychiatry**, v. 74, n. 10, p. 720-726, 2013.

ELIAS, Ryan J.; KELLERBY, Sarah S.; DECKER, Eric A. Antioxidant activity of proteins and peptides. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 48, n. 5, p. 430-441, 2008.

FALEIRO, Fábio Gelape; DE ANDRADE, Solange Rocha Monteiro; DOS REIS JUNIOR, Fábio Bueno. *Biotechnologia: estado da arte e aplicações na agropecuária*. 2011.

FEIZOLLAHI, Ehsan; HADIAN, Zahra; HONARVAR, Zohreh. Food fortification with omega-3 fatty acids; microencapsulation as an addition method. **Current Nutrition & Food Science**, v. 14, n. 2, p. 90-103, 2018.

FIGUEIREDO, Helena Rodrigues; CARVALHO, Viviel Rodrigo José de. ALIMENTOS FUNCIONAIS: Compostos bioativos e seus efeitos benéficos à saúde. In: **II Congresso Internacional do Grupo Unis**. Fundação de Ensino e Pesquisa do Sul de Minas, 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Biotechnology for agricultural development**: proceedings of the FAO International Technical Conference on “agricultural biotechnologies in developing countries: options and opportunities in crops, forestry, livestock, fisheries and agro-industry to face the challenges of food insecurity and climate change” (ABCD-10). Rome: FAO, 2011. 569 p

FREITAS, Ana C. *et al.* A biotecnologia marinha avança em direção a aplicações em novos alimentos funcionais. **Avanços da biotecnologia**, v. 6, pág. 1506-1515, 2012.

GASPAR, Roberta Paulino Lopes. Kombucha como alimento potencialmente psicobiótico. 2022. **Tese de Doutorado**. Universidade de São Paulo.

GERMAN, J. Bruce *et al.* Nutrigenomics and personalized diets: What will they mean for food?. **Annual review of food science and technology**, v. 2, p. 97-123, 2011.

GIANNAKOUROU, Maria C.; TAOUKIS, Petros S. Effect of alternative preservation steps and storage on vitamin C stability in fruit and vegetable products: Critical review and kinetic modelling approaches. **Foods**, v. 10, n. 11, p. 2630, 2021.

GIORDANO, Elena; VISIOLI, Francesco. Long-chain omega 3 fatty acids: molecular bases of potential antioxidant actions. **Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids**, v. 90, n. 1, p. 1-4, 2014.

GROSSO, Giuseppe *et al.* Omega-3 fatty acids and depression: scientific evidence and biological mechanisms. **Oxidative medicine and cellular longevity**, v. 2014, 2014

GUHA, Snigdha; MAJUMDER, Kaustav. Structural-features of food-derived bioactive peptides with anti-inflammatory activity: A brief review. **Journal of Food Biochemistry**, v. 43, n. 1, p. e12531, 2019.

IBAÑES, E.; CIFUENTES, A. Benefits of using algae as natural sources of functional ingredients. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 93, p. 703-709, 2013.

KANG, Jing X.; WEYLANDT, Karsten H. Modulation of inflammatory cytokines by omega-3 fatty acids. **Lipids in Health and Disease**, p. 133-143, 2008.

KING, C. G.; WAUGH, W. A. The chemical nature of vitamin C. **Science**, v. 75, n. 1944, p. 357-358, 1932.

KNORR, Dietrich; SINSKEY, Anthony J. Biotechnology in food production and processing. **Science**, v. 229, n. 4719, p. 1224-1229, 1985.

KOK, Car Reen; HUTKINS, Robert. Yogurt and other fermented foods as sources of health-promoting bacteria. **Nutrition reviews**, v. 76, n. Supplement\_1, p. 4-15, 2018.

KONSTANTINIDI, Melina; KOUTELIDAKIS, Antonios E. Functional foods and bioactive compounds: A review of its possible role on weight management and obesity's metabolic consequences. **Medicines**, v. 6, n. 3, p. 94, 2019..

KOPRUSZYNSKI, Cíbele Pereira; MARIN, Flávia Andréia. Alimentação humana, passado, presente e futuro. **Internaturi. Agent, Rede Sans**, 2012.

LEE, Byong H. **Fundamentals of food biotechnology**. John Wiley & Sons, 2014.

LEWANDOWSKA, Hanna *et al.* The role of natural polyphenols in cell signaling and cytoprotection

against cancer development. **The Journal of nutritional biochemistry**, v. 32, p. 1-19, 2016.

LIU, Rui Hai. Health benefits of fruit and vegetables are from additive and synergistic combinations of phytochemicals. **The American journal of clinical nutrition**, v. 78, n. 3, p. 517S-520S, 2003.

LOCATO, Vittoria; CIMINI, Sara; GARA, Laura De. Strategies to increase vitamin C in plants: from plant defense perspective to food biofortification. **Frontiers in plant science**, v. 4, p. 152, 2013.

LOPRESTI, Adrian L.; HOOD, Sean D.; DRUMMOND, Peter D. A review of lifestyle factors that contribute to important pathways associated with major depression: diet, sleep and exercise. **Journal of affective disorders**, v. 148, n. 1, p. 12-27, 2013.

MA, Tianyu; CHEN, Xianghan; WANG, Ming. Intracellular Delivery of mRNA for Cell-Selective CRISPR/Cas9 Genome Editing using Lipid Nanoparticles. **ChemBioChem**, v. 24, n. 9, p. e202200801, 2023.

MAJUMDER, Kaustav; MINE, Yoshinori; WU, Jianping. The potential of food protein-derived anti-inflammatory peptides against various chronic inflammatory diseases. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 96, n. 7, p. 2303-2311, 2016.

MARTIROSYAN, Danik; MILLER, Emma. Bioactive compounds: The key to functional foods. **Bioactive Compounds in Health and Disease-Online ISSN: 2574-0334; Print ISSN: 2769-2426**, v. 1, n. 3, p. 36-39, 2018.

MCCLEMENTS, David Julian. Encapsulation, protection, and delivery of bioactive proteins and peptides using nanoparticle and microparticle systems: A review. **Advances in colloid and interface science**, v. 253, p. 1-22, 2018.

MPHAHLELE, Rebogile R. *et al.* Effect of drying on the bioactive compounds, antioxidant, antibacterial and antityrosinase activities of pomegranate peel. **BMC complementary and alternative medicine**, v. 16, p. 1-12, 2016.

NISSAR, Jasia *et al.* Applications of biotechnology in food technology. **International Journal of Engineering Technology Science and Research**, v. 4, n. 12, p. 300-306, 2017.

NIU, Fengjuan *et al.* CRISPR/Cas9-mediated targeted mutagenesis of wild soybean (Glycine soja) hairy roots altered the transcription profile of the mutant. **J. Agric. Sci**, v. 12, p. 14-33, 2020.

PADAYATTY, Sebastian J. *et al.* Vitamin C as an antioxidant: evaluation of its role in disease prevention. **Journal of the American college of Nutrition**, v. 22, n. 1, p. 18-35, 2003.

PATEIRO, Mirian *et al.* Nanoencapsulation of promising bioactive compounds to improve their absorption, stability, functionality and the appearance of the final food products. **Molecules**, v. 26, n. 6, p. 1547, 2021.

PATIL, Bhimanagouda S. *et al.* Bioactive compounds: historical perspectives, opportunities, and challenges. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 57, n. 18, p. 8142-8160, 2009.

PAZINATO, Bianca; Alimentos Funcionais e Nutracêuticos: O Que São e Quais Suas Diferenças?. Empea Consultoria. Disponível em: <https://empeaconsultoria.com.br/alimentos-funcionais-e->

[nutraceuticos-o-que-sao-e-quais-suas-diferencas/#:~:text=A%20principal%20diferen%C3%A7a%20entre%20eles,podendo%20ser%20naturais%20ou%20sint%C3%A9ticos](#). Acesso em: 26 de abril de 2024.

PICCIRILLO, Erika; AMARAL, Antonia Tavares do. Busca virtual de compostos bioativos: conceitos e aplicações. **Química Nova**, v. 41, p. 662-677, 2018.

RAI, Amit Kumar *et al.* (Ed.). Desenvolvimentos Atuais em Biotecnologia e Bioengenharia: Tecnologias para Produção de Nutracêuticos e Produtos Alimentares Funcionais . Elsevier, 2021.

RAIHOFER, Luis *et al.* A short history of beer brewing: Alcoholic fermentation and yeast technology over time. **EMBO reports**, v. 23, n. 12, p. e56355, 2022.

RANE, Bhushan Rajendra *et al.* Novel approaches in nutraceuticals. In: **Enhancing the Therapeutic Efficacy of Herbal Formulations**. IGI Global, 2021. p. 241-266. over time. **EMBO reports**, v. 23, n. 12, p. e56355, 2022.

RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA - RDC nº 2, de 2 de janeiro de 2002. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Brasil. Dispõe sobre os procedimentos de registro de alimentos e substâncias bioativas. **Diário Oficial da União: seção 1**, Brasília, DF, 2 jan. 2002.

REIFEN, Ram. Vitamin A as an anti-inflammatory agent. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 61, n. 3, p. 397-400, 2002.

REILLY, Philip R.; DEBUSK, Ruth M. Ethical and legal issues in nutritional genomics. **Journal of the American dietetic association**, v. 108, n. 1, p. 36-40, 2008.

ROBERFROID, Marcel B. Concepts and strategy of functional food science: the European perspective. **The American journal of clinical nutrition**, v. 71, n. 6, p. 1660S-1664S, 2000.

ROJAS, Janne; BUITRAGO, Alexis. Antioxidant activity of phenolic compounds biosynthesized by plants and its relationship with prevention of neurodegenerative diseases. In: **Bioactive Compounds**. Woodhead Publishing, 2019. p. 3-31.

SHAHIDI, Fereidoon; AMBIGAIPALAN, Priyatharini. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects—A review. **Journal of functional foods**, v. 18, p. 820-897, 2015.

SHETTY, Kalidas; SARKAR, Dipayan (Ed.). **Functional Foods and Biotechnology: Biotransformation and analysis of functional foods and ingredients**. CRC Press, 2020.

SINGH, Anju *et al.* Oxidative stress: a key modulator in neurodegenerative diseases. **Molecules**, v. 24, n. 8, p. 1583, 2019.

SUGANYA, Kanmani; KOO, Byung-Soo. Gut–brain axis: role of gut microbiota on neurological disorders and how probiotics/prebiotics beneficially modulate microbial and immune pathways to improve brain functions. **International journal of molecular sciences**, v. 21, n. 20, p. 7551, 2020.

SZILAGYI, Andrew; ISHAYEK, Norma. Lactose intolerance, dairy avoidance, and treatment options. **Nutrients**, v. 10, n. 12, p. 1994, 2018.

TANAKA, Thalís Oliveira. Alimentos funcionais e nutracêuticos: origem, diferenciação conforme aspectos legislativos. 2023.

TEIXEIRA, Carlos Augusto Ciarlini. Características clínicas e epidemiológicas de 146 pacientes com esclerose múltipla acompanhados na cidade de Fortaleza, CE, Brasil, entre os anos 1979 e 2010. 2011.

TEODORO, Nelcirene Ximenes *et al.* **Aplicação da Biotecnologia na Produção e Desenvolvimento de Alimentos Funcionais: Uma Revisão**. Curitiba: B.CEPPA, 2021.

THOMPSON, Paul B.; KASSEM, Moustapha; WERNER, Wouter G. Food biotechnology in ethical perspective. 2007.

TORRES, Elizabeth. O papel da nutrição na saúde mental. *Jornal da USP*, 09 fevereiro 2022. Disponível em: <https://jornal.usp.br/artigos/o-papel-da-nutricao-na-saude-mental/>. Acesso em: 23 maio 2024.

URQUIAGA, I. N. E. S.; LEIGHTON, Federico. Plant polyphenol antioxidants and oxidative stress. **Biological research**, v. 33, n. 2, p. 55-64, 2000.

VALENTE, Joana Miguel Leite Duarte. Subprodutos alimentares: novas alternativas e possíveis aplicações farmacêuticas. 2015. **Tese de Doutorado**. Universidade Fernando Pessoa (Portugal).

VON SCHACKY, Clemens; HARRIS, William S. Benefícios cardiovasculares dos ácidos graxos ômega-3. **Pesquisa cardiovascular**, v. 73, n. 2, pág. 310-315, 2007.

WALIA, Niharika *et al.* Nanoencapsulação de vitamina D à base de óleo de peixe por ultrassom e análise de bioacessibilidade em trato gastrointestinal simulado. **Sonoquímica ultrassônica**, v. 39, p. 623-635, 2017.

WALL, Rebeca *et al.* Ácidos graxos de peixes: o potencial antiinflamatório dos ácidos graxos ômega-3 de cadeia longa. **Revisões nutricionais**, v. 68, n. 5, pág. 280-289, 2010.

WANG, Yang *et al.* Antioxidant properties of probiotic bacteria. **Nutrients**, v. 9, n. 5, p. 521, 2017.

WANG, Feijie *et al.* Personalized nutrition: a review of genotype-based nutritional supplementation. **Frontiers in Nutrition**, v. 9, p. 992986, 2022.

WILLIOT, Jean-Pierre; FUMEY, Gilles. **História da alimentação**. Editora Vozes, 2023.

World Health Organization (WHO). (2014). "Frequently Asked Questions on Genetically Modified Foods."

YE, Xudong *et al.* Engineering the provitamin A ( $\beta$ -carotene) biosynthetic pathway into (carotenoid-free) rice endosperm. **Science**, v. 287, n. 5451, p. 303-305, 2000.

ZABOT, Giovani Leone *et al.* Encapsulation of bioactive compounds for food and agricultural applications. **Polymers**, v. 14, n. 19, p. 4194, 2022.

ZHOU, Jiawen; LI, Qingshun Quinn. Stress responses of plants through transcriptome plasticity by mRNA alternative polyadenylation. **Molecular Horticulture**, v. 3, n. 1, p. 19, 2023.

