

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

Carolina Ferreira Nunes Padilha

**TECNOLOGIAS EMERGENTES NÃO TÉRMICAS PARA
PROCESSAMENTO DE PRODUTOS *PLANT-BASED***

Porto Alegre

2024

CAROLINA FERREIRA NUNES PADILHA

**TECNOLOGIAS EMERGENTES NÃO TÉRMICAS PARA
PROCESSAMENTO DE PRODUTOS *PLANT-BASED***

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Alimentos.

Orientador(a): Giovana Domeneghini Mercali

Coorientador: Jean Philippe Palma Revillion

Porto Alegre

2024

CAROLINA FERREIRA NUNES PADILHA

**TECNOLOGIAS EMERGENTES NÃO TÉRMICAS PARA
PROCESSAMENTO DE PRODUTOS *PLANT-BASED***

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Alimentos.

Aprovada em: ____ de _____ de ____

BANCA EXAMINADORA

Giovana Domeneghini Mercali (Orientadora)
Doutora em Engenharia Química - ICTA/UFRGS

Jean Philippe Palma Révillion (Co-orientador)
Doutor em Agronegócios - ICTA/UFRGS

Roberta Cruz Silveira Thys
Doutora em Engenharia - ICTA/UFRGS

Victória Hermes de Vargas
Doutoranda do Programa de Pós Graduação em Engenharia Química -
PPGEQ

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente a Deus, por ser a base da minha vida, sem Ele não estaria aqui e não teria chegado onde estou. Agradeço a minha família por todo apoio, incentivo, amor, e por todas as vezes que foram minha fortaleza nos dias difíceis e vibraram comigo em cada uma das minhas conquistas nesses anos.

A minha mãe, obrigada pelas horas de conversas, pelos incontáveis abraços, pelo colo ao final do dia, pela comidinha com gosto de amor, por todas as vezes que eu precisava ficar horas e horas estudando e tinha toda a compreensão necessária.

Ao meu pai, obrigada por ter sido a minha fortaleza, por ter tornado possível meu sonho de estudar em universidade federal, por nunca ter deixado eu desistir e sempre ter me incentivado a finalizar a tão sonhada graduação.

Agradeço ao meu namorado por toda paciência e compreensão nos últimos anos, pelas palavras de apoio e incentivo, sempre me motivando a continuar e dar o melhor de mim.

Agradeço a todos meus amigos ao longo dessa trajetória por entenderem quando eu precisava ficar em casa e me apoiaram em todas as minhas escolhas. Aos meus colegas dos últimos anos, mesmo em pandemia, sempre me ajudando no que podiam, algumas vezes rindo junto de desespero e vibrando juntos, sempre que o semestre acabava e pensávamos que a formatura estava cada vez mais perto. O caminho não se tornou mais fácil, mas se tornou mais divertido.

Obrigada a professora Giovana por ter aceitado ser minha orientadora, agregando conhecimento e experiência ao meu trabalho, deixando-o mais completo. E agradeço ao meu co-orientador Jean, por todo apoio no último semestre, por ter me dado inúmeras ideias, pela paciência e confiança. Agradeço aos membros da banca avaliadora, professora Roberta Thys e a doutoranda Victória Vargas, por terem aceitado o convite e por dedicarem atenção e tempo à avaliação do meu trabalho.

RESUMO

A indústria de alimentos está em constante evolução devido à crescente conscientização dos consumidores sobre a qualidade dos produtos, refletida no aumento das vendas de alimentos à base de plantas que têm aumentado consistentemente, com previsões de crescimento promissoras nos próximos anos. Além disso, o aumento da conscientização ambiental tem contribuído para a preferência por alimentos à base de plantas em detrimento aos produtos de origem animal. Essa mudança de preferência é impulsionada não apenas por preocupações ambientais, mas também por considerações nutricionais e de saúde. O processamento de alimentos desempenha um papel crucial na determinação de características como sabor, textura e valor nutricional. A demanda por alimentos seguros, saudáveis e minimamente processados, impulsiona o desenvolvimento de tecnologias emergentes que visam atender a essas necessidades de forma sustentável. Tradicionalmente, a pasteurização térmica tem sido utilizada para reduzir a atividade microbiana e enzimática. No entanto, diante da crescente demanda por produtos à base de plantas que se assemelham aos de origem animal, estão sendo desenvolvidas e aprimoradas tecnologias de processamento, com foco em métodos não térmicos. Dentre eles, destaca-se plasma frio, campo elétrico pulsado, ultrassom, alta pressão, homogeneização de ultra alta pressão e radiação ultravioleta. Essas tecnologias oferecem vantagens como a preservação de compostos termolábeis e a manutenção das características sensoriais e nutricionais dos alimentos. Elas podem ser aplicadas tanto para a conservação dos produtos como para a modificação de propriedades funcionais. Esse trabalho tem como objetivo realizar uma revisão dos avanços tecnológicos recentes no processamento de produtos *plant-based*, abordando a aplicação de tecnologias não térmicas. A partir da revisão realizada, conclui-se que as tecnologias emergentes têm uma aplicação promissora para substituir técnicas tradicionais que são aplicadas para a conservação dos alimentos. Além disso, essas técnicas têm um grande potencial para alteração das características sensoriais e funcionais dos produtos, com o intuito de produzir alimentos com características mais próximas aos que contêm produtos de origem animal. A revisão aponta a necessidade de regulamentação dessas tecnologias emergentes e a necessidade de se estabelecer variáveis de processo para garantir segurança microbiológica, manutenção do perfil nutricional e estabilidade físico-química dos produtos. Barreiras ainda precisam ser superadas, exigindo mais estudos sobre os efeitos dessas tecnologias em diferentes matrizes alimentares.

Palavras chaves: *plant-based*; tecnologias emergentes; tecnologias não térmicas; segurança de alimentos.

ABSTRACT

The food industry is constantly evolving due to increasing consumer awareness about product quality, reflected in the rising sales of plant-based foods that have consistently increased, with promising growth forecasts in the coming years. Additionally, the increasing environmental awareness has contributed to the preference for plant-based foods over animal-derived products. This shift in preference is driven not only by environmental concerns but also by nutritional and health considerations. Food processing plays a crucial role in determining characteristics such as taste, texture, and nutritional value. The demand for safe, healthy, and minimally processed foods drives the development of emerging technologies aimed at meeting these needs sustainably. Traditionally, thermal pasteurization has been used to reduce microbial and enzymatic activity. However, faced with growing demand for plant-based products resembling animal-derived ones, processing technologies focusing on non-thermal methods are being developed and improved. Among these, cold plasma, pulsed electric field, ultrasound, high pressure, ultra-high-pressure homogenization, and ultraviolet radiation stand out. These technologies offer advantages such as the preservation of heat-labile compounds and the maintenance of sensory and nutritional characteristics of foods. They can be applied both for product preservation and for modification of functional properties. This work aims to review recent technological advances in the processing of plant-based products, addressing the application of non-thermal technologies. From the review conducted, it is concluded that emerging technologies have promising applications to replace traditional techniques applied for food preservation. Furthermore, these techniques have great potential for altering the sensory and functional characteristics of products, aiming to produce foods with characteristics closer to those containing animal-derived products. The review highlights the need for regulation of these emerging technologies and the establishment of process variables to ensure microbiological safety, maintenance of nutritional profile, and physicochemical stability of the products. Barriers still need to be overcome, requiring further studies on the effects of these technologies on different food matrices.

Keywords: plant-based; emerging technologies; non-thermal technologies; food safety

SUMÁRIO

Sumário	
1. INTRODUÇÃO	8
2. OBJETIVO	10
2.1 Objetivo geral.....	10
2.3 Objetivos específicos	10
3. METODOLOGIA	11
4. O MERCADO DE PRODUTOS <i>PLANT-BASED</i>	12
5. LEGISLAÇÃO DE PRODUTOS <i>PLANT-BASED</i>	16
6. TECNOLOGIAS EMERGENTES NÃO TÉRMICAS PARA PRODUTOS <i>PLANT-BASED</i>	18
6.1 Plasma frio.....	22
6.2 Campo elétrico pulsado	24
6.3 Ultrassom.....	26
6.4 Alta pressão.....	29
6.5 Homogeneização de ultra-alta pressão.....	32
6.6 Radiação ultravioleta	34
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
REFERÊNCIAS	39

1.INTRODUÇÃO

A indústria de alimentos é um domínio cada vez mais competitivo e dinâmico, que reflete a crescente conscientização dos consumidores sobre os produtos que consomem. Características importantes que definem a qualidade dos alimentos, como aparência, textura, sabor e conteúdo nutricional, são fortemente influenciadas pela forma como eles são processados. A fim de atender às demandas dos consumidores, o processamento de alimentos está se tornando cada vez mais desafiador e diversificado, envolvendo mudanças nas técnicas convencionais e a adoção de tecnologias inovadoras e emergentes (Cristianini, 2022).

O desenvolvimento de tecnologias emergentes no processamento de alimentos atende às necessidades específicas do consumidor em relação a alimentos seguros, saudáveis e com poucas etapas de processamento. Essas inovações não apenas oferecem métodos ecologicamente corretos e sustentáveis, com uso reduzido de energia e de água, mas também superam algumas limitações associadas aos métodos tradicionais de processamento (Cristianini, 2022). Essas tecnologias são agrupadas em tecnologias térmicas, como micro-ondas, radiofrequência e aquecimento ôhmico, e não térmicas, como alta pressão, campo elétrico pulsado e ultrassom.

Recentemente, a consciência ambiental tem sido um fator importante na escolha dos consumidores por alimentos à base de plantas (conhecidos também como alimentos *plant-based*) em detrimento dos produtos de origem animal. Segundo a ANVISA (2022), os produtos à base de plantas incluem alimentos processados que são formulados à base de ingredientes de origem vegetal e que buscam uma similaridade de aparência, textura, sabor e outros atributos a produtos tradicionais de origem animal, como carne e produtos cárneos, pescados, ovos, leite e derivados lácteos. A compra de leite de vaca integral e com teor reduzido de gordura diminuiu ao longo da década de 2008 a 2018, enquanto a compra de produtos alternativos à base de plantas aumentou significativamente (DEFRA, 2020). O aumento da conscientização ambiental tem impulsionado a preferência por produtos sustentáveis, com consumidores de produtos *plant-based* percebendo menor emissão de carbono em comparação com produtos de origem animal (McClements & Grossmann, 2021).

Embora os produtos alternativos à base de plantas sejam conhecidos por incluírem fibras alimentares, vitaminas e antioxidantes, elas contêm proporções muito menores de alguns nutrientes, como cálcio e iodo, em comparação com produtos lácteos, que são conhecidos por ser a principal fonte de nutrição do corpo humano desses nutrientes (CLEGG, Miriam E. et al, 2021); (Sharma et al., 2022a; Sharma et al., 2022c).

O setor *plant-based*, alinhado com as preferências dos consumidores, destaca a discussão sobre as tecnologias que permitem a criação de produtos à base de plantas semelhantes aos de origem animal, abrangendo o uso de processos fermentativos, mecânicos e não térmicos (Aydar et al., 2020). A pasteurização, uma técnica convencional de tratamento térmico, aplicada principalmente para a inativação de microrganismos e enzimas, pode afetar negativamente as características físicas, químicas, sensoriais e nutricionais de alimentos e bebidas (Aydar et al., 2020). Nesse contexto, as tecnologias não térmicas emergentes têm ganhado destaque, atendendo à demanda por alimentos minimamente processados e seguros, preservando atributos nutricionais, sensoriais e funcionais (Teixeira et al., 2021).

As tecnologias não térmicas possuem mecanismos físicos e químicos próprios para promover a conservação de alimentos e podem induzir diferentes reações na matriz alimentar, degradando, formando ou retendo diferentes compostos químicos. (Vega-mercado et al., 1997). Cada uma das tecnologias de processamento não térmicas possui aplicações específicas, dependendo do tipo de alimento a ser processado (Teixeira et al., 2021). Essas tecnologias são importantes para evitar a degradação de compostos termolábeis, como vitaminas, corantes naturais, etc, mantendo o alimento nutritivo e com características mais originais.

Nesse contexto, o presente trabalho propõe-se a realizar uma revisão abrangente dos avanços tecnológicos ocorridos nos últimos 5 anos no campo de processamentos de produtos *plant-based*. Foram investigadas as tecnologias emergentes mais difundidas atualmente, como plasma frio, campo elétrico pulsado, ultrassom, alta pressão hidrostática, homogeneização de ultra alta pressão e radiação ultravioleta.

Esse trabalho busca contribuir para subsidiar o grande número de empresas Food Techs no Brasil e no exterior, que se interessam pelo desenvolvimento de produtos *plant-based*. Espera-se que esse documento sirva como um guia, auxiliando na identificação de processos adequados para atender às metas dessas empresas

comprometidas com inovação e sustentabilidade. A contribuição final ancora-se no fornecimento de referências confiáveis, facilitando o progresso e a eficiência no desenvolvimento de produtos *plant-based*, alinhando-se com os princípios de inovação e responsabilidade ambiental.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste estudo é descrever os princípios e aplicações dos principais métodos de processamento empregados em produtos *plant-based*, com o foco nas tecnologias emergentes de natureza não térmica, fornecendo *insights* para Food Techs interessadas no desenvolvimento sustentável de produtos à base de plantas.

2.3 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- apresentar o mercado de produtos *plant-based*;
- descrever aspectos legais pertinentes aos parâmetros de identidade e qualidade e ao processamento de produtos *plant-based*;
- analisar a literatura científica dos últimos 5 anos para compreender os avanços nas tecnologias de processamento de produtos *plant-based*;
- identificar tendências tecnológicas, incluindo inovações como homogeneização de ultra alta pressão, campo elétrico pulsado, ultrassom, alta pressão hidrostática e radiação ultravioleta;
- descrever os princípios e aplicações específicas das tecnologias não térmicas aplicadas ao processamento de produtos *plant-based*.

3. METODOLOGIA

Este trabalho é uma revisão da literatura com pesquisas realizadas a partir de livros, artigos, sites e outras fontes seguras de dados científicos, com o objetivo de garantir a segurança e qualidade da pesquisa. Os principais bancos de dados de pesquisa foram Web of Science, Elsevier, Scopus, Google Acadêmico e Scielo, todos acessados com as credenciais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

A pesquisa foi realizada entre os meses de setembro de 2023 e janeiro de 2024, sendo selecionados trabalhos pela seguinte ordem: título do artigo, ano da publicação, e relevância do artigo. Entre os mesmos meses foram pesquisados trabalhos realizados pela EMBRAPA, legislações regulamentadas pelas ANVISA e pelo MAPA, órgãos regulamentadores no Brasil.

Foram utilizadas palavras chaves em português e inglês como “*plant-based*”, “perfil de consumidor de *plant-based*”, “mercado nacional para *plant-based*”, “mercado internacional para *plant-based*”, “legislação *plant-based*”, “legislação brasileira para produtos à base de plantas”, “tecnologias emergentes”, “tecnologias emergentes não térmicas”, “emerging technologies”, “processamento de fermentação” e “plant based alternativos para lácteos”.

Os artigos selecionados com a pesquisa realizada nas bases de dados foram submetidos a um processo de seleção composto por três etapas subsequentes: (1) leitura do título; (2) leitura do resumo; (3) leitura na íntegra. Essas etapas objetivam sistematizar a leitura e facilitar o processo de inclusão e exclusão dos artigos de interesse para a revisão.

Após realizado o processo de seleção, foi possível obter a quantidade de artigos utilizados na presente revisão, a qual retornou um total 28 artigos e 3 legislações. Com estes artigos foi possível, então, realizar uma análise crítica sobre princípios e aplicações dos principais métodos inovadores de processamento empregados em produtos *plant-based*.

4. O MERCADO DE PRODUTOS *PLANT-BASED*

Nos últimos anos, o mercado de produtos à base de plantas, especialmente de bebidas, cresceu rapidamente, emergindo com um dos setores de crescimento mais rápido na indústria alimentícia moderna (Crosser, 2020). No entanto, observa-se uma significativa discrepância entre as previsões de evolução desse mercado. Essa divergência é atribuída, em parte, à falta de uma definição uniforme do escopo do termo “*plant-based*”. A maioria das pesquisas e previsões de mercado consideram produtos *plant-based* todos aqueles que não contém nenhum ingrediente de origem animal, e não apenas os produtos que são substitutos aos de origem animal. Isso faz com que os índices de crescimento sejam diferentes de uma pesquisa para outra.

Cada vez mais os consumidores estão buscando informações mais detalhadas tanto sobre as marcas de produtos consumidos quanto sobre o próprio alimento. Essa atitude tem relação com a busca por uma alimentação mais saudável e preocupação com a origem do produto, gerando diversas tendências que podem ser classificadas em macrotemas, como apresentado na Figura 1 a seguir (Cruz, 2021).

Figura 1 - Macrotemas associados às tendências de consumo de alimentos no Brasil.

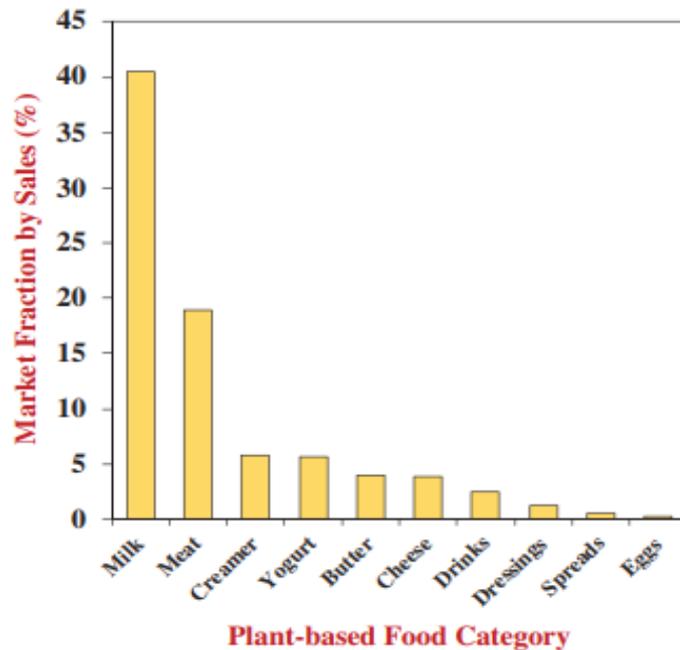
SUSTENTABILIDADE	SAUDABILIDADE	SEGURANÇA DOS ALIMENTOS	SEGMENTAÇÃO CRESCENTE
Econômica - Social - Ambiental	Superfoods e Alimentos Funcionais	Padrão de Qualidade Nutricional e Sanitária	Variáveis Comportamentais dos Consumidores
Consumo Vegano e Flexitariano	Grãos Ancestrais e Integrais	Bem-Estar e Ética na Produção	Customização via Inteligência Artificial
Produtos Upcycled e Plant-based	Produtos Orgânicos, Zero Glúten e Zero Lactose	Embalagens inteligentes	Novas Gerações
Baixa Emissão de Carbono	Snacks Saudáveis	Origem e Rastreabilidade	Diferentes Estilos de Vida
Agricultura Sustentável	Bebidas Probióticas	Boas Práticas Agropecuárias	Comunicação Transparente

Fonte: Cruz (2021)

O Good Food Institute (GFI), uma organização sem fins lucrativos sediada em Washington DC, relatou que as vendas de alimentos à base de plantas em todas as categorias cresceram quase 29% de 2017 a 2019, atingindo um valor de mercado de cerca de US\$ 4,98 bilhões (Crosser, 2020). Além disso, prevê-se que o mercado global de proteínas à base de plantas alcance mais de US\$35 bilhões até 2024 (R&M, 2020). Segundo a empresa global de pesquisa Euromonitor (2020), a demanda e produção de produtos *plant-based* têm crescido em larga escala no Brasil. A pesquisa revela que, no ano de 2020, esses alimentos tiveram faturamento de US\$82,8 milhões, o equivalente a R\$457,52 milhões, representando quase 70% comparado ao ano de 2015. Segundo dados do GFI, de acordo com dados da plataforma Passport da Euromonitor, em 2022, a projeção no Brasil sobre o comércio de bebidas vegetais similares ao leite alcançou R\$612 milhões no varejo, uma alta de 15% em relação ao ano anterior. Esses dados revelam que os produtos *plant-based* têm destacada relevância como substitutos aos produtos de origem animal.

A categoria de produtos alimentícios à base de plantas inclui uma ampla variedade de produtos projetados para imitar alimentos de origem animal, como carnes, peixes, ovos, leite e seus derivados, como mostra a Figura 1. Os consumidores esperam que cada um desses produtos tenha atributos físico-químicos, funcionais e sensoriais específicos, o que leva a desafios específicos de formulação e produção para o setor de alimentos à base de plantas (Crosser, 2021). Pode-se observar na Figura 2 que a classe dos leites vegetais foi a que mais cresceu em comparação com as outras classes. Entende-se que esse crescimento deve-se ao crescente aumento de pessoas com intolerância a lactose, açúcar presente no leite, e alergia a caseína, proteína do leite.

Figura 2 - Fração de mercado das vendas de alimentos à base de plantas por categoria.



Fonte: Crosser (2021).

Desde 2019, o mercado nacional *plant-based* tem se destacado por mesclar lançamentos com uma dedicação constante em aprimorar seus produtos em busca de sabor, textura e experiência cada vez mais similares aos feitos com proteína animal (REVISTA EXAME, 2023). É importante destacar o mercado nacional de produtos à base de plantas, que deve continuar crescendo ao longo dos anos, podendo alcançar um faturamento de R\$ 592 milhões (IBRAFE – INSTITUTO BRASILEIRO DO FEIJÃO E PULSES) (CANAL AGRO, 2022b).

Um levantamento realizado pelo GFI (2020) revelou a existência de 107 empresas nacionais dedicadas à produção de proteínas *plant-based* em 2020. As startups nesse setor vêm crescendo e ganhando visibilidade, atraindo investimentos e expandindo rapidamente sua base de clientes. A Figura 3 mostra um diagrama das principais empresas do mercado nacional de produtos alternativos análogos à proteína animal segundo o GFI Brasil (2022).

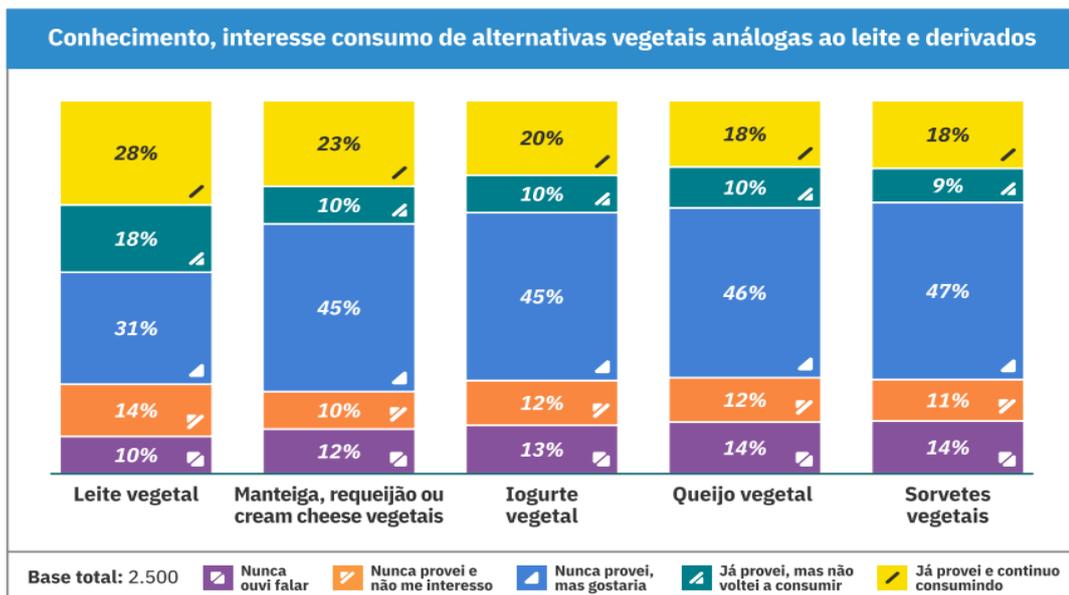
Figura 3 - Diagrama das empresas do setor produtor de proteínas vegetais análogas aos lácteos.



Fonte: GFI (2022).

Esse mercado, marcado por inovações constantes, demonstra um crescimento significativo, e os agentes que nele se encontram buscam ampliar o público e a diversidade dos produtos. Há uma preocupação notável na melhoria das características sensoriais e nutricionais dos produtos. A Figura 4 destaca o expressivo percentual de pessoas que, embora nunca tenham provado, demonstram interesse em produtos vegetais análogos aos lácteos. Esse indicador reflete o aumento de pessoas interessadas em produtos *plant-based*.

Figura 4 – Interesse de consumo de produtos alternativos vegetais análogos aos lácteos do mercado nacional



Fonte: GFI (2022).

5. LEGISLAÇÃO DE PRODUTOS *PLANT-BASED*

Atualmente, no Brasil não há uma regulamentação definindo quais produtos podem ou não receber a denominação de *plant-based*. Considerando as divergências sobre as nomenclaturas que existem, sabe-se que é um segmento em pleno crescimento no país e que já mostrou a importância de haver uma regulamentação para ter uma concorrência justa e leal entre as empresas (PANSANI, 2021). Os alimentos desse segmento obedecem a Lei nº 9.972/20 e o Decreto nº 6.268/07, que tratam da classificação de produtos vegetais, subprodutos e resíduos de valor econômico, porém não existe uma legislação específica para produtos análogos aos de origem animal (MOURA, 2022).

Em 11 de julho de 2021, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) publicou a tomada pública de subsídios através da Portaria nº327/2021, que tem como objetivo promover uma discussão sobre a regulação dos produtos processados de origem vegetal autodenominados *plant-based*. Em agosto de 2021, foi publicado no diário oficial da união a Portaria nº375/2021, que estabelece os requisitos e critérios para a certificação voluntária dos produtos de origem vegetal. Essa certificação permitirá que os setores produtivos possam evidenciar características de qualidade dos produtos e levar esta informação ao consumidor nacional de forma mais completa. Já para o mercado internacional, essa certificação voluntária vai permitir que o produto brasileiro seja mais valorizado por meio da emissão do certificado oficial de conformidade (CRUZ, 2021). Além disso, está em trâmite a PL nº 10.556/2018, que propõe que o uso da palavra “leite” seja restrito apenas aos produtos de origem animal (COUTINHO, 2021).

No dia 3 de julho de 2023, o MAPA iniciou uma Consulta Pública com o propósito de estabelecer os requisitos mínimos de identidade, qualidade, normas de rotulagem e a obrigação de registro junto ao órgão para produtos análogos à base vegetal. A Consulta Pública abrange produtos alimentícios que são formulados exclusivamente com ingredientes de origem vegetal, fúngica ou algácea. Esses produtos buscam replicar a aparência, textura, sabor e outros atributos de produtos tradicionais de origem animal, tais como produtos cárneos, pescados, ovos, leite e derivados lácteos. Os produtos *plant-based* também deverão cumprir alguns requisitos de qualidade: deverão utilizar ingredientes autorizados em legislação específica e ser isentos de substâncias nocivas à saúde; deverão atender aos padrões

microbiológicos previstos em legislação específica; e deverão ser produzidos de acordo com as boas práticas de fabricação e sem odores estranhos ao produto (GFI, 2023). Na versão atual desta proposta, está autorizado que produtos *plant-based* incluam em seus rótulos termos como "carne", "queijo" e "leite", contanto que estejam acompanhados da expressão "análogo vegetal de" (GFI, 2023).

Algumas localidades, como a União Europeia, o Reino Unido, os Estados Unidos, o Canadá, a Austrália, Singapura, Japão, e Nova Zelândia, possuem diretrizes específicas. A norma britânica, por exemplo, estabelece que os alimentos 100% *plant-based* devem ser derivados de vegetais, grãos integrais, legumes, nozes, sementes e frutas e não podem conter nenhum ingrediente ou produto de origem animal. No entanto, é permitido o uso de outros elementos naturais, como água e minerais, ou aditivos artificiais (GFI BRASIL, 2021).

Em março de 2021, com base na norma do *Codex Alimentarius*, foi publicada a norma técnica ISO 23662, que estabelece e define critérios para toda a cadeia produtiva de alimentos veganos e vegetarianos. A norma estabelece critérios de rotulagem e de alegações que estarão presentes no rótulo. A ISO 23662 não é um regulamento que acarreta punições a partir de seu descumprimento, mas oferece um padrão internacional com critérios técnicos acerca de alimentos veganos e vegetarianos. Logo, a aplicação da ISO 23662 deve surgir a partir de uma decisão estratégica da organização (DIDIER, 2021). Com a publicação dessa ISO, é possível notar a busca por um produto diferenciado, ou seja, a obtenção de uma certificação específica. Existe também o certificado de produto vegano emitido pela Sociedade Vegetariana Brasileira (SVB), que foi criada para traçar conceitos padronizados quanto às definições e critérios técnicos para alimentos e ingredientes alimentícios enquadrados como veganos e vegetarianos (ANTONACCIO, 2021).

A Food and Drug Administration (FDA) publicou em fevereiro de 2023 um rascunho regulatório que indica que bebidas vegetais devem usar o termo "leite" no rótulo, como, por exemplo, "leite de soja". A regulamentação informa que para ser chamado de "leite" o produto deve atender padrões de qualidade e nutricionais, como quantidade mínima de proteína, vitaminas e fibras, e não apenas ser uma fonte de proteína, independentemente de ser animal ou vegetal (FDA, 2023). A agência afirmou que esses produtos não enganam o consumidor americano, que sabe que está comprando uma bebida à base de plantas, e não um produto derivado de animais, e recomenda que os fabricantes rotulem seus produtos claramente pela fonte vegetal

do alimento. Esse foi um movimento contrário ao que alguns setores da indústria americana imaginavam e indica que a FDA está olhando para o futuro (GFI, 2023).

Em 2022, a GFI Brasil realizou uma pesquisa com mais de 2500 pessoas de todas as regiões do Brasil para identificar padrões de compra de alimentos e consumo de produtos à base de plantas, principalmente substitutos de produtos de origem animal. A pesquisa mostrou que, em uma primeira compra de produtos de origem vegetal análogos aos de origem animal, 97% dos consumidores sabiam que estavam comprando produtos de origem vegetal, e apenas 3% compraram esses produtos de origem vegetal por engano, acreditando ser um produto de origem animal.

É possível perceber o amplo movimento das agências regulatórias globais para a regulamentação de produtos *plant-based*, uma vez que esses produtos são objeto de inovação na indústria de alimentos e não existe uma regulamentação clara. Além disso, através das pesquisas, é possível observar que os consumidores não compram produtos *plant-based* por engano, mas sim por estarem aderindo ao crescente movimento global em busca de uma alimentação mais saudável e sustentável e com experiências sensoriais semelhantes aos produtos de origem animal (GFI, 2022).

6. TECNOLOGIAS EMERGENTES NÃO TÉRMICAS PARA PRODUTOS *PLANT-BASED*

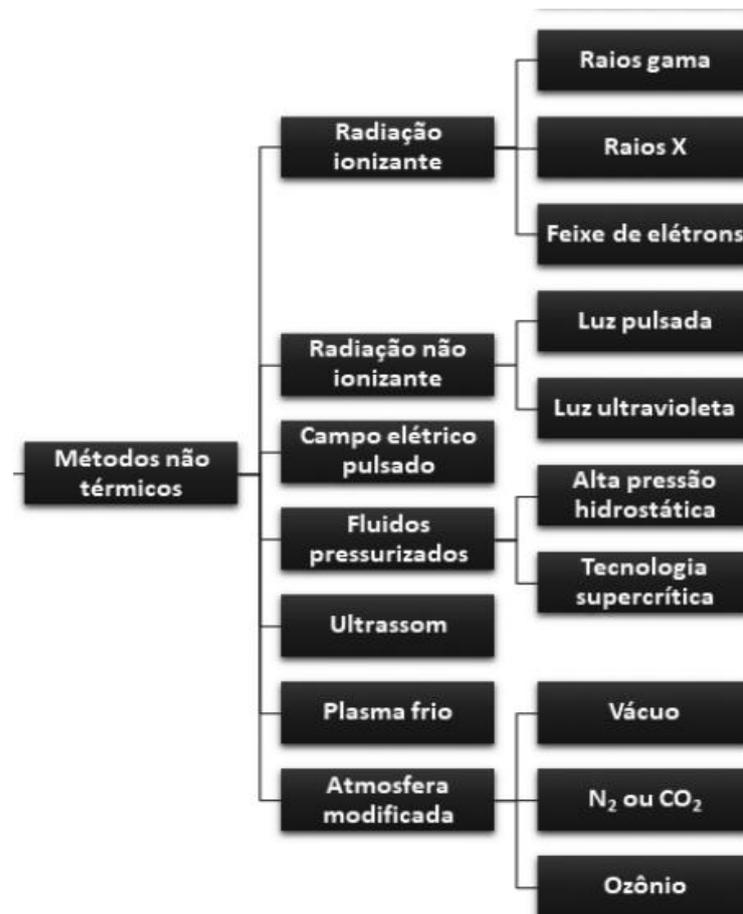
As tecnologias emergentes foram desenvolvidas inicialmente visando substituir técnicas tradicionais que são aplicadas para a conservação dos alimentos. Contudo, conforme as tecnologias foram sendo estudadas e mais compreendidas, novas aplicações foram sendo encontradas, baseadas no princípio de ação de cada uma delas. Assim, pensando nos alimentos *plant-based*, as tecnologias não térmicas podem ser aplicadas visando dois objetivos: 1) para conservação, inativando enzimas e microrganismos patogênicos e deteriorantes; 2) para alteração das características sensoriais e funcionais dos produtos, com o intuito de produzir alimentos com características mais próximas aos que contém produtos de origem animal.

Com relação à conservação, uma das principais preocupações relacionadas ao desenvolvimento de produtos alimentares refere-se à atividade microbiana e enzimática. Alta atividade microbiana e enzimática reduz a vida útil do produto ao modificar suas propriedades sensoriais. Além dos efeitos de degradação, os microrganismos podem promover patologias em seus consumidores. Portanto, a

pasteurização de produtos, comumente realizada por meio de tratamento térmico, é um ponto crítico no processamento de alimentos, pois reduz a carga microbiana e enzimática a níveis seguros para o consumo humano (Mukhopadhyay et al.; 2018). No entanto, esses processos utilizam altas temperaturas que podem modificar de maneira indesejável as características físicas, sensoriais e nutricionais dos alimentos.

Diante desse cenário, tecnologias inovadoras de processamento, baseadas em processos não-térmicos (alta-pressão, campo elétrico pulsado e ultrassom) ou térmicos com baixo tempo de aplicação (aquecimento ôhmico e micro-ondas), têm sido extensivamente estudadas como alternativas para substituir os métodos tradicionais. A Figura 5 ilustra as principais tecnologias emergentes não térmicas utilizadas no processamento de alimentos.

Figura 5 - Principais tecnologias emergentes não térmicas para tratamento de alimentos.



Fonte: CRISTIANINI (2023).

Os alimentos *plant-based* são produzidos por um conjunto de operações unitárias que podem ser realizadas utilizando tecnologias inovadoras. Por exemplo, a substituição de tratamentos térmicos convencionais por aqueles que utilizam tecnologias emergentes apresenta várias vantagens. O uso de temperaturas moderadas permite a manutenção das características sensoriais e nutricionais do produto. Assim os processos de pasteurização não térmica proporcionam produtos com alto valor agregado, uma vez que podem preservar compostos termolábeis (Bocker et al., 2022). Ressalta-se que cada tecnologia emergente apresenta suas características de custo-benefício, apresentando diferentes mecanismos de ação e efeitos nos alimentos (Bocker et al., 2022).

Os produtos *plant-based* análogos aos lácteos geralmente são submetidos ao tratamento de pasteurização, caso mantidos sob refrigeração, ou a esterilização UHT, caso sejam mantidos a temperatura ambiente. Esses processos em altas temperaturas, no entanto, podem promover a degradação de compostos termolábeis e favorecer algumas reações indesejadas, afetando assim as propriedades físico-químicas e alterando características sensoriais (Sethi et al., 2016). A maioria das tecnologias de processamento de alimentos não térmicas indicam potencial para inativação microbiana, alcançando padrões de pasteurização e melhorando a qualidade dos alimentos *plant-based* (Bermudez-Aguirre, 2020).

A substituição de tratamentos térmicos convencionais por aqueles que utilizam tecnologias emergentes apresenta várias vantagens. O Quadro 1 resume as principais aplicações e as vantagens de algumas tecnologias emergentes não térmicas. No entanto, algumas barreiras ainda precisam ser superadas. Em primeiro lugar, os tratamentos que empregam tecnologias emergentes precisam ser regulamentados. Assim, as variáveis de processo e seus efeitos na segurança microbiológica e enzimática, no perfil nutricional e na estabilidade físico-química dos produtos serão estabelecidos. Para isso, são necessários mais estudos sobre os efeitos dessas tecnologias em matrizes alimentares, especialmente estudos associados ao mecanismo de ação de cada tratamento e seus efeitos sobre a matéria-prima (Bocker et al, 2022).

Quadro 1 – Aplicações e vantagens de tecnologias emergentes não térmicas.

TECNOLOGIA	APLICAÇÕES	VANTAGENS
Plasma frio	Alimentos sólidos e líquidos; alimentos com alto teor de lipídeos.	Baixo consumo energético; não utiliza água; não deixa resíduo no alimento; promove inativação enzimática e inativação microbiana;
Campo elétrico pulsado	Bebidas fermentadas; Alimentos sólidos e líquidos.	Aumento da vida útil; estabilidade do produto; redução no tempo de fermentação; reduz a degradação dos componentes sensíveis ao calor.
Ultrassom	Alimentos líquidos e sólidos.	Econômico; Baixo consumo energético; Redução de ingredientes; Maior na velocidade das reações; Aumento do rendimento; Redução de custos de operação; Melhoria nas propriedades organolépticas
Alta pressão	Alimentos líquidos e sólidos; alimentos já embalados ou a granel.	Aumento da vida útil; processo seguro; retém compostos aromáticos e valor nutricional; baixo consumo energético e utilização de água; baixo custo operacional.
Radiação ultravioleta	Alimentos sólidos, alimentos líquidos turvos; água residual.	Não forma subprodutos tóxicos; destruição de microrganismos em baixas temperaturas; não altera sabor e odor; baixo consumo energético.

Fonte: Adaptado de Brasil Food Trends (2020).

Uma das desvantagens das tecnologias não térmicas é a baixa capacidade de inativar esporos celulares por utilizarem baixas temperaturas que não são suficientes para causar a sua inativação. Assim, algumas metodologias combinam diferentes fontes de estresse, como calor e pressão, para promover maior segurança microbiológica para o produto (Bocker et al., 2022).

As tecnologias emergentes estão sendo amplamente aplicadas em vários países devido às suas vantagens. De acordo com Jermann et al. (2015), a HPP (High Pressure Processing) e a tecnologia de micro-ondas são as mais utilizadas comercialmente. A HPP tem sido oficialmente aceita como um processo de pasteurização não térmica por agências reguladoras e é utilizada comercialmente em uma ampla variedade de produtos alimentícios (Balasubramaniam, 2021). A radiação UV é a terceira tecnologia emergente mais aplicada na América do Norte. O campo elétrico pulsado ocupa essa mesma posição em aplicações comerciais na Europa (Bocker et al., 2022).

Algumas dessas tecnologias inovadoras têm a capacidade de modificar a estrutura proteica, interferindo em diversas interações entre as moléculas de proteína, resultando em alterações nas características funcionais. As proteínas vegetais contribuem com cerca de 65% de toda a proteína comestível disponível globalmente, sendo os grãos de cereais e as leguminosas, nozes e oleaginosas as principais fontes (Wu et al., 2014; Young & Pellett, 1994). Quando falamos sobre a funcionalidade relacionada às proteínas *plant-based*, quatro aspectos principais devem ser considerados: capacidades de absorção de água/gordura, solubilidade da proteína, propriedades emulsificantes e espumantes, e características de gelificação e reológicas (Avelar et al., 2021; Putnik et al., 2018).

Nos itens a seguir, serão abordadas algumas tecnologias não térmicas, abordando o princípio de cada uma delas e a aplicação em alimentos *plant-based*.

6.1 Plasma frio

Plasma frio (CP, do inglês *cold plasma*) é uma tecnologia não convencional de processamento de alimentos não térmica. É criado por um gás parcial ou completamente ionizado, sendo composto por várias espécies atômicas, moleculares, iônicas e radicais excitados, coexistindo com inúmeras espécies reativas, incluindo elétrons, íons positivos e negativos, radicais livres, átomos de gás, moléculas no estado fundamental ou excitado, e quanta de radiação eletromagnética (fótons UV e luz visível). Essa tecnologia apresenta vantagens distintas em aplicações alimentares. Do ponto de vista ambiental, essa tecnologia demonstra alta eficiência energética, com baixo requisito de entrada de energia, dispensando o uso de água e produtos químicos, sendo assim considerada ecologicamente correta. É aplicável tanto a produtos alimentícios sólidos quanto líquidos e não deixa resíduos (Bourke et al., 2018).

O plasma frio é utilizado principalmente para sanitização de superfícies de alimentos. Possui uma boa aplicabilidade em produtos com alto teor de lipídeos (Ribeiro et al., 2021) e é utilizado para conservação de alimentos pois tem a capacidade de inativar microrganismos e enzimas. Além disso, é eficiente na inativação de várias enzimas, como por exemplo, a α -quimotripsina, polifenoloxidase, peroxidase, fosfatase alcalina e lisozima. A inativação enzimática ocorre pela desnaturação da estrutura secundária, devido à interação de aminoácidos e espécies

reativas de plasma e à perda de estruturas alfa-hélice e folhas beta, promovendo a perda da funcionalidade das proteínas (Li et al., 2014; Misra et al., 2016; Chutia et al., 2019). Parâmetros de processamento do plasma frio, como tipo de plasma, e volume da amostra, além do tipo de proteína ou enzima, são críticos para a eficiência da desnaturação da proteína (Niveditha et al., 2021).

Pesquisas demonstraram que a tecnologia de plasma frio oferece uma boa alternativa aos métodos convencionais de pasteurização de produtos alimentícios à base de plantas. Durante o tratamento com plasma frio, espécies reativas atacam a parede celular dos microrganismos, promovem o extravasamento do material interno e danificam os componentes intercelulares de bactérias Gram-negativas (Surowsky et al., 2013; Prasad et al., 2017). Em bactérias Gram-positivas, não ocorre extravasamento celular, mas ocorre danificação dos componentes intercelulares, como o DNA (Sarangapani et al., 2018). Além disso, alguns estudos mostram a eficácia da utilização de plasma frio na remoção de sabores indesejados no processamento de produtos *plant-based* análogos a lácteos (Han et al., 2019).

As aplicações do plasma frio na agricultura envolvem a substituição de pesticidas, degradação de pesticidas e germinação de sementes. Devido ao forte efeito oxidante das espécies reativas de plasma nas membranas celulares, o plasma frio é eficaz no controle microrganismos durante o armazenamento de alimentos à base de cereais com um tempo de tratamento residual curto e livre de resíduos (Sarangapani et al., 2018). Alguns fatores determinam a eficácia da inativação microbiana, como a composição do gás de alimentação, a umidade relativa e o tempo de tratamento.

Alguns estudos demonstraram um aumento nos componentes antioxidantes de alimentos *plant-based* tratados com plasma frio, o que pode ser atribuído à liberação de compostos bioativos pela ruptura das membranas celulares com espécies de plasma ativas e, assim, um efeito de corrosão na membrana. Além disso, a inativação de enzimas foi alcançada em sistemas alimentares modelo expostos ao plasma (Surowsky et al., 2013).

As proteínas vegetais também podem ser processadas com plasma frio na presença de um composto auxiliar com o objetivo de aprimorar propriedades específicas. Em um estudo, a capacidade de hidratação da proteína de amendoim aumentou em cerca de 160% após o tratamento com plasma frio (70W) na presença de goma sesbania (de *Sesbania drummondii*) (Yu et al., 2021). Os compostos

auxiliares são usados para garantir um ambiente de transmissão do plasma para o material-alvo (Sun et al., 2021).

O isolado protéico de soja é uma das proteínas vegetais mais estudadas devido à sua abundância (Qin et al., 2022). Ele foi tratado com plasma frio em vários parâmetros operacionais, e os pesquisadores relataram que a aplicação da tecnologia numa potência de 18 kV por 15 minutos melhorou as propriedades tecno-funcionais do isolado protéico mais do que outras condições de tratamento (16,18, 20 kV por 5, 10, 15 minutos). A solubilidade, a atividade de emulsão e a capacidade de espuma aumentaram em 25, 27 e 23%, respectivamente, após o tratamento com plasma frio (Sharafodin & Soltanizadeh, 2022).

Nos últimos anos, observou-se um notável aumento na atenção dedicada ao tratamento com plasma frio em proteínas de origem vegetal e seu efeito promissor no aprimoramento das propriedades funcionais dessas proteínas (Dong et al., 2018). A modificação com plasma frio é proposta como um método bom e promissor para melhorar as propriedades de gelificação e pode ser usada pela indústria em materiais alimentícios (Zhang et al., 2022). Além disso, é importante ressaltar que o efeito dessa tecnologia na inativação microbiana pode diminuir em alimentos ricos em proteínas (Bourke et al., 2018).

Apesar dessa tecnologia ser facilmente aplicável, é necessário avaliar a eficiência desse processamento, assim como a segurança dos gases utilizados e as interações que ocorrem entre o plasma e a matriz (Ribeiro et al., 2021).

6.2 Campo elétrico pulsado

No campo elétrico pulsado (PEF, do inglês *pulsed electric field*), uma tecnologia emergente não térmica, o alimento é colocado entre dois eletrodos e submetido a pulsos elétricos muito curtos (1-100 μ s) e a altas tensões, de 1 a 80 kV/cm. Esses pulsos elétricos são capazes de danificar as membranas das células dos microrganismos definitivamente ou temporariamente, de acordo com a condição e intensidade do tratamento (Ribeiro et al., 2021), num fenômeno conhecido como eletroporação. Uma aplicação dos pulsos de alta tensão promove, inicialmente, a indução de um potencial transmembrana. Esse potencial, em valores críticos, resulta na formação de poros na membrana celular de microrganismos (Novickij et al., 2020). Dependendo da intensidade do campo elétrico e da duração dos pulsos, a

eletroporação pode ser reversível ou irreversível (Gabrić et al., 2017; Golberg et al., 2016).

A eletroporação é considerada reversível se o aumento na permeabilidade da membrana é de natureza transitória. Nesse caso, a célula sobrevive, e a membrana recupera sua permeabilidade. De maneira geral, pode-se afirmar que o PEF de baixa/moderada intensidade pode induzir eletroporação reversível na membrana celular, sendo bastante interessante para aceleração da atividade microbiana em bebidas fermentadas (Morales-de la Peña et al., 2023). Quando aplicado a esse tipo de produto, são obtidas bebidas de alto valor e com qualidade aprimorada, pois o PEF promove extensão da vida útil e estabilidade dos produtos, redução do tempo de fermentação, produção de metabólitos secundários e melhoria do metabolismo microbiano, favorecendo seu crescimento e aumento de sua população (Caplice, 1999). As baixas temperaturas utilizadas, em torno de 30 a 40°C, evitam a degradação térmica dos compostos termolábeis (El Kantar et al., 2018; Wibowo et al., 2019).

Na eletroporação irreversível, o poro formado é permanente e causa a inativação do microrganismo. A inativação das células microbianas ocorre em temperaturas moderadas, enquanto compostos termolábeis, como antioxidantes e substâncias voláteis, são preservados (Caplice, 1999; Gally et al., 2017; Knirsch et al., 2010). Esse efeito foi observado por Morales-de la Peña et al. (2010) em uma bebida à base de soja vegetal. Eles avaliaram os efeitos de um tratamento por PEF a 200 Hz, com pulsos de 4 μ s, na composição antioxidante do produto. A tecnologia emergente promoveu uma maior retenção de ácido ascórbico (vitamina C) e maior capacidade antioxidante em comparação com um tratamento de pasteurização (90°C por 60 s). Além disso, ambos os tratamentos promoveram a estabilização microbiológica da bebida à base de soja. Há diversas vantagens associadas ao uso de PEF em comparação com as abordagens convencionais de processamento. Estas incluem a redução do tempo de processamento e dos custos de energia, a minimização da degradação de compostos sensíveis ao calor, e aprimoramentos no processo de extração de compostos (Ribeiro et al., 2021).

A eficácia desta tecnologia para pasteurização a frio não se estende a produtos sólidos não homogêneos, sendo essa a razão pela qual é aplicado para esse fim somente em sucos e vitaminas de frutas em nível industrial. Estes produtos estão disponíveis no mercado de países como Alemanha, Reino Unido e Holanda. Entretanto, é importante notar que essa tecnologia ainda é cara e possui uma

capacidade de tratamento limitada quando aplicada em escala industrial (Ribeiro et al., 2021).

O custo inicial de investimento dessa tecnologia é elevado, variando de €75.000 a €40.000, dependendo das necessidades energéticas e da escala de produção (Puértolas and Barba, 2016). No entanto, o investimento inicial é compensado por seu menor gasto energético, relacionado ao tempo de processamento mais curto e maior eficiência energética (Morales-de la Peña et al., 2011).

A aplicação de PEF em proteínas vegetais pode alterar a sua estrutura tridimensional pois a tecnologia gera radicais livres que podem interagir com grupos funcionais dos aminoácidos, afetando as interações intramoleculares dentro das moléculas de proteína, incluindo interações hidrofóbicas e eletrostáticas, pontes dissulfeto, ligações de hidrogênio, pontes salinas e forças de Van der Waals. Além disso, os tratamentos com PEF podem alterar a carga aparente das proteínas devido à modificação de suas interações iônicas (Taha et al., 2022). Sabe-se que o processamento por PEF inativa enzimas endógenas nos alimentos vegetais e também tem a capacidade de efetuar mudanças na estrutura secundária e terciária da proteína, enquanto a estrutura primária permanece inalterada (Zhao et al., 2014).

Manzoor e colaboradores (2019) aplicaram PEF em leite de amêndoas e verificaram que o tratamento afetou as suas propriedades físicas e químicas. A aplicação de PEF reduziu o tamanho das partículas, conferindo mais estabilidade à emulsão ao evitar a separação das fases, em comparação com a amostra de controle.

6.3 Ultrassom

O ultrassom (US) é uma tecnologia emergente não térmica que consiste na propagação de ondas sonoras de frequências acima da audição humana (20-40 kHz) através de um meio líquido, sólido ou gasoso, gerando campos de cisalhamento, agitação, turbulência, vibração, pressão e fluxo acústico (Rodríguez, 2022; Galvan et al., 2018). Os processos de ultrassom aplicados em alimentos e bebidas são caracterizados de acordo com a frequência do ultrassom empregado, sendo de baixa frequência (16 - 100 kHz) e alta frequência (100 kHz - 1 MHz) (Soria and Villamiel, 2010). O ultrassom de baixa intensidade é geralmente utilizado para avaliação de qualidade não destrutiva, e o ultrassom de alta intensidade para modificação da

estrutura dos alimentos, como em aplicações de extração, homogeneização, modificação de viscosidade, pasteurização, descasque, congelamento, esterilização, inativação de enzimas, emulsificação, filtração e amaciamento (Chandrapala et al., 2012; Choudhary & Rawson, 2021; Naik et al., 2022; Rao et al., 2021; Sengar et al., 2020).

A aplicação de ultrassom de alta intensidade induz efeitos físicos e químicos desejáveis que geralmente melhoram a eficiência de vários processos na indústria de alimentos, visando aumentar a transferência de massa (Galvan et al., 2018; Nowacka, 2016). O efeito físico consiste na cavitação acústica, um fenômeno em que a energia sonora (ultrassom) se propaga em um meio líquido por meio de compressões e refrações. Dessa forma, microbolhas de cavitação se formam em níveis elevados de energia durante a refração, concentrando-se à medida que o processo avança, gerando um acúmulo de gases ou vapores no meio (Silva et al., 2015). Essas microbolhas eclodem em um valor crítico de frequência, promovendo tensão de cisalhamento no sistema. A tensão de cisalhamento nos sistemas promove aumentos na energia térmica, agitação dinâmica e turbulência no meio (Li et al., 2021).

A cavitação promove a ruptura da membrana celular de microrganismos, o que leva à exposição de seu material genético e facilita sua inativação efetiva. Quando aplicado ao processamento de bebidas à base de plantas, permite a inativação de enzimas endógenas e microrganismos patogênicos e de deteriorantes, com uma menor perda de nutrientes (Maghsoudlou et al., 2016). Os processos de ultrassom preservam melhor os compostos bioativos porque, durante a eclosão das microbolhas, a temperatura e a pressão aumentam em uma microrregião, assim, a temperatura do sistema não aumenta tanto (Bhattacharjee et al., 2019).

A redução na atividade enzimática do produto, que é promovida principalmente pela ação de radicais livres, que são liberados no meio devido à sonólise das moléculas de água. Essa sonólise é proporcionada pela cavitação acústica. Os radicais livres têm alta reatividade e instabilidade, agindo assim sobre as enzimas, cedendo ou doando elétrons. Dessa forma, as enzimas perdem sua conformação nativa devido à desestabilização de suas ligações protéicas. Assim, as enzimas são desnaturadas e inativadas (Bhattacharjee et al., 2019). Por outro lado, os radicais livres podem degradar o ácido ascórbico, acelerar a oxidação lipídica e reduzir o teor de compostos fenólicos dos produtos (Chen et al., 2020).

Além do uso para conservação, o ultrassom tem sido utilizado para modificar, melhorar e modular as propriedades funcionais de concentrados e isolados proteicos de diferentes fontes vegetais. Vários estudos relataram que a aplicação de ultrassom de alta intensidade a proteínas dispersas/suspensas resultou em alterações estruturais e, portanto, modificações nas propriedades funcionais dessas proteínas (Télliez-Morales et al., 2020; Arzeni et al., 2012; Zhao et al., 2022). Jambrak et al. (2008) relataram que o ultrassom melhorou significativamente a solubilidade da proteína de soja. Neste estudo, o aumento na solubilidade da proteína foi atribuído ao desenvolvimento de calor durante a ultrassonicação, favorecendo a solubilidade da proteína (Jambrak et al., 2008). O ultrassom de alta intensidade modifica a estrutura da proteína, expondo os resíduos hidrofílicos, tornando-a proteína mais solúvel em água. A cavitação quebra as ligações de hidrogênio e interações hidrofóbicas, resultando na diminuição do peso molecular da proteína e no aumento da interação entre a proteína e as moléculas de água (Resendiz-Vazquez et al., 2017; Zhang et al., 2017). Além disso, interações hidrofóbicas ocorrem como resultado da repolimerização da estrutura da proteína, o que leva à redução da hidrofobicidade da superfície das proteínas (Yan et al., 2021).

Zhang et al. (2014), por outro lado, relataram que a hidrofobicidade da superfície do isolado proteico de ervilha aumentou após o tratamento por ultrassom. Além disso, a hidrofobicidade da superfície está correlacionada com a propriedade emulsificante, portanto, o aumento da hidrofobicidade da superfície melhora a propriedade emulsificante do isolado proteico de ervilha.

Maghsoudlou et al. (2016) avaliaram os efeitos do tratamento por ultrassom nas características sensoriais e propriedades funcionais de uma bebida à base de amêndoas (*Prunus amygdalus*). O tempo de processamento por ultrassom afetou as propriedades físico-químicas da bebida. O aumento do tempo de processamento aumentou os valores do teor de sólidos solúveis, luminosidade e estabilidade física do produto. Além disso, foi observada uma redução no tamanho da partícula coloidal e na viscosidade com o aumento do tempo de processamento. Assim, a bebida à base de amêndoas submetida a ultrassom apresentou maior homogeneidade, estabilidade e vida útil.

A utilização de ultrassom tem ganhado notável importância na extração de proteínas de fontes vegetais, devido à sua capacidade de romper as células e facilitar a transferência de massa. As cavitações ultrassônicas resultam na geração de ondas

de cisalhamento, microjatos, turbulência e ondas de choque, promovendo uma extração mais eficiente por meio da modificação da matriz vegetal (Rao et al., 2021). Em um estudo adicional, a combinação de ultrassom com hidrólise enzimática demonstrou incrementar a produção de peptídeos bioativos (Ulug et al., 2021).

A cavitação acústica gerada durante o tratamento por ultrassom em produtos *plant-based* pode promover modificações estruturais em proteínas nativas que podem influenciar a sua natureza alérgica (Wang et al., 2021). O ultrassom foi relatado como significativamente eficiente para melhorar o tratamento enzimático a fim de reduzir alérgenos em amendoins torrados (Li et al., 2013). A aplicação do tratamento por ultrassom em proteínas de soja por 10 minutos indicou uma redução de 24% na alergenicidade da soja (Choudhary et al., 2013).

Além de reduzir o conteúdo alergênico, o ultrassom também pode reduzir a quantidade de fatores antinutricionais presentes em leguminosas e oleaginosas, aumentando assim seu valor comercial. Wu et al. (2021) estudaram a aplicação de ultrassom de alta e baixa intensidade na inativação de inibidores de tripsina de soja e concluíram que os tratamentos com frequências de 20 kHz e 355 kHz foram altamente eficazes na inativação de tripsina em comparação com o tratamento de alta frequência de 1056 kHz.

O ultrassom exibe uma eficiência energética superior em comparação aos tratamentos térmicos convencionais, sendo essa vantagem atribuída ao breve tempo de processamento requerido nas aplicações ultrassônicas (Li et al., 2021).

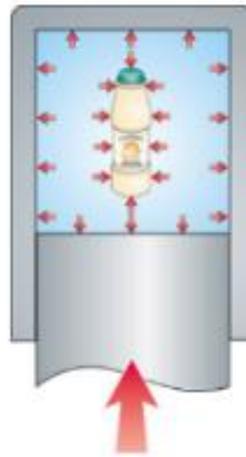
6.4 Alta pressão

A tecnologia de alta pressão (HPP, do inglês *High Pressure Processing*) é uma técnica não térmica baseada na aplicação de pressões elevadas, na faixa de 100-800 MPa a alimentos sólidos ou líquidos por um curto período de tempo, entre 3-15 minutos, visando inativar microrganismos patogênicos e deteriorantes presentes no produto. A aplicação de altas pressões causa danos na membrana celular, desnaturação de enzimas e proteínas, e alterações nas organelas. O aumento da pressão promove a cristalização de fosfolipídeos presentes na membrana celular dos microrganismos. Assim, a maior permeabilidade da membrana permite uma maior troca de estrutura iônica, inibindo as funções celulares ou promovendo a lise do

microrganismo. Além disso, o processamento de alta pressão modifica as características morfológicas dos microrganismos.

A pressão é transmitida de forma uniforme e quase instantânea ao produto através de um meio transmissor de pressão não compressível, normalmente água, a baixa ou temperatura ambiente, evitando a perda de componentes termolábeis (Simon-Sarkadi, 2012; Ma et al., 2022). A Figura 6 exemplifica como a pressão é aplicada. Essa tecnologia pode ser aplicada no alimento já embalado ou não, e permite a redução do uso de conservantes no produto (Nunes & Tavares, 2019).

Figura 6 - Aplicação uniforme de HHP em um alimento.



Fonte: <http://www.avure.com/food/applications/>.

O processo de HPP tem sido aplicado com sucesso ao longo dos anos para fornecer alimentos seguros e nutritivos com propriedades funcionais e sabor fresco. Ao contrário da tecnologia de PEF e US, a HPP tem sido principalmente utilizada como um processo de preservação de bebidas fermentadas, demonstrando a inativação de bactérias e leveduras, mantendo suas características de qualidade e composição nutricional. A eficácia da HPP na inativação microbiana depende principalmente do nível de pressão aplicado, do tempo de processamento, das características dos microrganismos e da composição da matriz alimentar (Simon-Sarkadi, 2012; Ma et al., 2022). Essa tecnologia apresenta maior eficácia na eliminação de fungos, leveduras e bactérias gram-negativas (Aydar et al., 2020).

A HPP apresenta uma desvantagem em relação aos tratamentos térmicos convencionais pois o processamento é realizado em lotes ou semicontínuo, enquanto os tratamentos convencionais são realizados em modo contínuo. Assim, os

tratamentos térmicos tradicionais processam um volume de produto maior em menos tempo. No entanto, os tratamentos de alta pressão apresentam várias vantagens em relação aos tratamentos de pasteurização convencionais. A principal vantagem está associada aos impactos mínimos dessa tecnologia emergente nas características sensoriais e nutricionais do produto. Os tratamentos de alta pressão não promovem o rompimento das ligações covalentes de proteínas, vitaminas, antioxidantes e compostos voláteis dos produtos.

A inibição enzimática promovida pelos processos de alta pressão está diretamente relacionada ao aumento da pressão do sistema. O mecanismo de modificação de proteínas usando o HPP segue o princípio de Le Chatelier, que é uma relação inversa entre pressão e volume, onde uma diminuição no volume é promovida pelo aumento da pressão (Martínez-Monteagudo & Rathnakumar, 2021). O tratamento com HPP tem a capacidade de alterar o volume das moléculas de proteína, causando rupturas, desdobramentos, desnaturação e agregação (Akharume et al., 2021).

Recentemente, o HPP tem sido amplamente explorado para modificações na estrutura de alimentos, principalmente em macromoléculas, pois causa desnaturação de proteínas e gelatinização de amido induzidas pela alta pressão. As alterações na estrutura proteica induzidas pela pressão podem modificar seus atributos funcionais, como solubilidade, capacidade de retenção de água, tendência à emulsificação e formação de espuma, e formação de gel (Balasubramaniam et al., 2016). Isso ocorre porque o HPP não afeta as ligações covalentes, o que pode ser uma ferramenta útil para ajustar as propriedades funcionais das proteínas. Uma pressão de 350 MPa por 15 minutos modificou a estrutura de concentrados de proteína de ervilha, mostrando uma maior extensão de desnaturação, agregação e formação de redes devido a mudanças na conformação terciária e quaternária das proteínas (S. Y. Sim et al., 2019).

Além de estabilizar produtos alimentícios, os tratamentos de alta pressão também promovem diferentes efeitos físicos nas partículas dos fluidos tratados. Fenômenos como colapso, cavitação, turbulência e cisalhamento causados por esse tratamento promovem a redução do tamanho das partículas. Essa redução no tamanho das partículas garante uma maior estabilidade cinética ao produto (Briviba et al., 2016).

O tratamento de bebidas *plant-based* em altas pressões promove uma redução no tamanho das partículas coloidais, aumentando assim a homogeneidade e

estabilidade do produto (Codina-Torrella et al., 2017). Assim, pressões inferiores a 400 MPa são comumente aplicadas no processamento de bebidas à base de plantas para evitar a agregação de partículas no produto (Aydar et al., 2020). Além disso, a HPP mostrou-se eficaz para retardar reações de oxidação em bebidas à base de plantas. A alta pressão enfraquece as ligações proteicas na fase dispersa da bebida. Assim, as proteínas desnaturadas, por sua vez, agregam-se à fração lipídica do produto. Essa agregação retarda a oxidação lipídica (Codina-Torrella et al., 2017).

O efeito da HHP também pode contribuir para reduzir o caráter alergênico de algumas bebidas *plant-based*. Por exemplo, o impacto da HHP nas proteínas alergênicas de amêndoas (proteína amandina) foi avaliado por Dhakal et al. (2014). Os pesquisadores avaliaram a aplicação de HHP (450 e 600 MPa de 0 a 600s) e comparam com o processamento térmico tradicional (0°C a 99°C de 0 a 600s). Os resultados mostraram que os níveis de amandina foram afetados por todos os tratamentos de HHP (Codina-Torrella et al., 2017).

6.5 Homogeneização de ultra-alta pressão

A homogeneização de ultra-alta pressão (UHPH) ou homogeneização de alta pressão (HPH) é uma operação unitária que utiliza pressões elevadas, variando de 200 a 600 MPa em líquidos pré-aquecidos a temperaturas entre 30 e 85 °C, visando reduzir o tamanho de partículas em suspensões e emulsões. A redução do tamanho das partículas é frequentemente utilizada para melhorar processos de formação de creme, sedimentação ou agregação, aumentando assim a uniformidade, a estabilidade e a vida útil do produto (Lopez, Cauty, & Guyomarc'h, 2015b; Valencia-Flores et al., 2013).

Essa tecnologia também pode ser usada para aumentar a dispersibilidade e a biodisponibilidade de lipídeos bioativos, promovendo sua digestão e solubilização no trato gastrointestinal (McClements, 2020b). Diferentes tipos de equipamentos podem ser usados para alcançar a redução do tamanho de partículas, incluindo misturadores de alto cisalhamento, moinhos coloidais, homogeneizadores de válvula de alta pressão (HPVHs), micro fluidizadores e sonificadores (McClements, 2015).

A vida útil de substitutos *plant-based* análogos a lácteos deve ser pelo menos igual a vida útil dos lácteos (Sethi et al., 2016). Estudos mostraram que a vida útil de produtos *plant-based* análogos a lácteos de três dias pode ser estendida para um

máximo de 57 dias após o tratamento de UHPH (Codina-Torrella et al., 2018). O efeito da UHPH foi estudado por Valencia-Flores et al. (2013) na estabilidade microbiana do leite de amêndoas. O tratamento UHPH foi comparado com a pasteurização e o tratamento UHT. A análise microbiológica, a estabilidade física e a análise química indicaram um produto de alta qualidade em comparação com as amostras pasteurizadas e tratadas UHT.

A tecnologia de UHPH demonstra grande potencial para aprimorar a estabilidade do leite à base de plantas, uma vez que resulta na redução do tamanho das partículas, proporcionando maior uniformidade (Valencia-Flores et al., 2013). Essa abordagem tecnológica contribui para a criação de uma distribuição homogênea no tamanho das partículas, além de desempenhar um papel crucial na modificação das proteínas vegetais, otimizando sua funcionalidade. A diminuição no tamanho das partículas não apenas aprimora a solubilidade, mas também intensifica as propriedades emulsificantes e de formação de espuma. Este efeito foi observado ao avaliar a solubilidade da proteína de avelã e da proteína de lentilha sob uma pressão de 100 MPa (Saricaoglu, 2020). A aplicação de alta pressão induz o desdobramento estrutural das proteínas, fomentando uma interação mais significativa entre as cadeias hidrofóbicas e hidrofílicas, resultando em uma eficácia aprimorada na formação de camadas interfaciais (Melchior et al., 2022). Outra constatação relevante é que a utilização da tecnologia UHPH (200 MPa a 55 e 75 °C) demonstrou eficácia na prevenção da sedimentação de partículas suspensas durante o armazenamento refrigerado de bebidas à base de soja (Poliseli-Scopel et al., 2013). Este estudo destaca a capacidade da UHPH em manter a estabilidade coloidal ao longo do tempo, contribuindo para a qualidade e durabilidade dos produtos à base de plantas.

Segundo Cruz et al. (2007), dois tratamentos UHPH, 200 e 300 MPa, foram aplicados ao leite de soja a uma temperatura de entrada de 40°C e foram comparados com leite de soja normal e tratado termicamente por UHT. Os resultados indicaram que o tratamento UHPH melhorou significativamente a estabilidade da emulsão ao perturbar as partículas coloidais e também mostrou uma redução na carga microbiana. Os autores avaliaram as características de iogurtes à base de soja obtidos a partir de leites à base de soja tratados termicamente. O estudo mostrou um aumento no início da gelificação, bem como uma diminuição na taxa de agregação e densidade da rede de gel em leites à base de soja tratados por UHPH em comparação com tratamentos térmicos, resultando em melhorias nas propriedades físico-químicas. É importante

destacar que a pasteurização melhorou a estabilização de partículas suspensas imediatamente após o processamento e durante o armazenamento, mas a UHPH produziu um produto mais estável (Cruz et al., 2007).

6.5.1 Homogeneizadores de válvula de alta pressão (HPVHs)

Os homogeneizadores de válvula de alta pressão (HPVHs) são atualmente os equipamentos mais amplamente utilizados para preparar emulsões óleo-em-água (O/W) de baixa viscosidade contendo pequenas gotículas de óleo. Esse tipo de emulsão pode servir como base para a formação de *plant-based* análogos a lácteos. Os HPVHs consistem em duas partes principais: (i) uma bomba de pistão de alta pressão acionada por um motor elétrico; e (ii) uma ou mais válvulas com um diâmetro de orifício que variam de tamanho (McClements & Grossmann, 2021).

Inicialmente, uma emulsão grosseira pré-emulsionada é preparada e introduzida nos HPVHs e, em seguida, é bombeada através da válvula sob alta pressão. Esse processo gera forças intensas de cisalhamento, alongamento e cavitação nos fluidos, que fazem com que as gotículas se esticam e se rompam. Os principais parâmetros que determinam o tamanho das gotículas produzidas são a geometria da válvula, as viscosidades das fases dispersas e contínua, a tensão interfacial, a densidade de energia e as características do emulsionante (Hakansson, 2019).

Para HPVHs, a densidade de energia (E_v) é a diferença de pressão através da válvula. Tipicamente, o diâmetro médio das gotículas diminui com o aumento da densidade de energia, número de passagens e concentração do emulsionante. Consequentemente, esses parâmetros devem ser otimizados ao produzir alternativas de leite à base de plantas usando homogeneizadores de alta pressão. A homogeneização de alta pressão tem sido utilizada para produzir análogos de leite à base de plantas a partir de uma variedade de ingredientes derivados de plantas (McClements & Grossmann, 2021).

6.6 Radiação ultravioleta

A radiação UV destaca-se como uma tecnologia emergente não térmica para produtos *plant-based*. Essa tecnologia é baseada no efeito germicida promovido pela radiação UV. No comprimento de onda germicida, a radiação UV-C (250 a 260 nm)

promove a desestabilização ou mutação do ácido desoxirribonucleico (DNA) de microrganismos, alterando sua estrutura e função de reprodução, levando as células à morte (Atilgan et al., 2021). As bactérias suspensas no ar são mais sensíveis à radiação UV-C do que as suspensas em líquidos, devido à diferente capacidade de penetração da luz UV-C através de diferentes meios físicos. A luz incidente é atenuada enquanto atravessa o meio, de acordo com o coeficiente de absorção. A maior intensidade de cor ou turvação do líquido eleva o coeficiente de absorção, o que implica uma menor penetração de luz através do sistema (Barbosa-Cánovas, 2004).

Para os microrganismos acumularem uma dose letal, é necessária exposição completa da superfície (Koutchma & Orłowska, 2012). O efeito germicida da luz UV-C pode ser suprimido quando os microrganismos estão internalizados nos tecidos ou aderidos em áreas injuriadas, locais não afetados pela radiação, pois a luz se torna inacessível às células (Gómez et al., 2015). Nesse sentido, as características superficiais dos vegetais exercem grande influência sobre a eficácia da sanitização com radiação UV-C. A presença de fissuras, cavidades e outras irregularidades, além da própria rugosidade da superfície, podem atenuar a energia incidente. Além de promover a inativação microbiológica, a radiação ultravioleta (UV) também atua sobre enzimas. Essa radiação promove alterações fotoquímicas em proteínas, resultando na inativação enzimática (Bandla et al., 2012).

Esse tratamento utiliza baixas temperaturas e a radiação não promove a degradação térmica de compostos termolábeis presentes nos alimentos. No entanto, essas doses elevadas podem causar foto-oxidação dos compostos dos produtos, podendo alterar as propriedades organolépticas. Uma maneira de reduzir a dosagem de radiação para a estabilização microbiológica e enzimática é aplicar turbulência ao meio, favorecendo a interação do produto com os raios UV (Bandla et al., 2012). O processo se torna mais eficaz em superfícies e em meios líquidos claros. Por outro lado, a tecnologia de radiação UV é ineficiente para promover a estabilização microbiológica de alimentos sólidos opacos pois o poder de penetração dos raios UV é baixo, prejudicando a inativação microbiológica (Bandla et al., 2012). Portanto, doses mais altas de radiação são aplicadas no tratamento de produtos líquidos turvos (Bandla et al., 2012). Essa abordagem permitiu a eliminação parcial de microrganismos como *Escherichia coli*, *Bacillus cereus* e *Salmonella enterica* em bebidas à base de soja (*Glycine max*; Bandla et al., 2012; Possas et al., 2018).

Além disso, a disseminação da tecnologia de radiação ultravioleta destaca-se por sua acessibilidade em comparação com outras tecnologias disponíveis. O sistema utilizado nos tratamentos tem baixo custo agregado, é compatível com outras tecnologias e sua instalação é fácil de ser realizada. Além disso, o tratamento com radiação UV não gera resíduos tóxicos. Ele permite tempos de processamento curtos, constituindo uma tecnologia sustentável e limpa (Atilgan et al., 2021).

A literatura traz que a dose é o fator que mais influencia a eficiência da sanitização com radiação UV-C, que depende da intensidade da radiação emitida pelas lâmpadas UV e do tempo de exposição. Teoricamente, maiores doses e/ou intensidades e tempos de exposição levam a maiores reduções microbianas (Fan et al., 2017). Em contrapartida, doses de radiação baixas podem não proporcionar uma inativação eficaz dos microrganismos, uma vez que estes podem ter a capacidade de reparar ou reverter os efeitos destrutivos causados pela radiação. Além disso, a presença de turvação em produtos líquidos pode comprometer a eficácia do processo de desinfecção. Em superfícies, a eficácia da radiação depende da regularidade dos materiais, exigindo assim um programa dedicado de manutenção e limpeza do equipamento (Oliveira et al., 2002).

A utilização da radiação UV é um dos métodos mais práticos para a descontaminação usados no tratamento de água residual, pois pode inativar bactérias, vírus e esporos de bactérias. Esse método é eficaz na inativação de bactérias, vírus e esporos de bactérias, além de oferecer vantagens notáveis, tais como baixa sensibilidade à temperatura. A abordagem UV surge como uma alternativa viável ao uso de produtos químicos, sem afetar as características sensoriais do produto, como cor, sabor, odor, pH e composição nutricional. Além disso, a manutenção do sistema é economicamente eficiente, uma vez que envolve apenas o consumo de corrente elétrica e a substituição periódica de lâmpadas. Essa praticidade contribui para a sustentabilidade e eficácia a longo prazo da descontaminação utilizando radiação UV no tratamento de água residual.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mercado nacional e internacional de produtos à base de plantas está crescendo rapidamente devido a mudanças nos padrões de consumo e conscientização sobre saúde e sustentabilidade. Startups nesse setor estão prosperando, impulsionadas pela demanda por opções alimentares mais saudáveis e sustentáveis. No entanto, a falta de uma definição uniforme do termo "*plant-based*" gera ambiguidades e dificuldades de interpretação, afetando as projeções de crescimento do mercado. Uma regulamentação adequada é crucial para garantir transparência, segurança e competição justa.

As tecnologias emergentes para o processamento de alimentos à base de plantas oferecem uma abordagem inovadora e promissora. Inicialmente desenvolvidas para substituir métodos tradicionais de conservação, essas tecnologias agora também melhoram as características sensoriais e funcionais dos produtos.

A tecnologia do plasma frio é ecologicamente correta, eficiente energeticamente e não deixa resíduos, sendo usada principalmente para a sanitização de superfícies alimentares e a inativação de microrganismos e enzimas. É particularmente eficaz em produtos com alto teor de lipídeos e pode melhorar as propriedades funcionais e a capacidade de hidratação das proteínas vegetais. A alta pressão é altamente promissora, eficaz contra fungos, leveduras e bactérias gram-negativas em alimentos sólidos ou líquidos. É utilizada para preservar bebidas fermentadas e sua eficácia depende da pressão aplicada, tempo de processamento, tipo de microrganismos e composição do alimento. Além de estabilizar produtos, preserva as características sensoriais e nutricionais, reduzindo o tamanho de partículas e aumentando a estabilidade e homogeneidade de bebidas à base de plantas.

A homogeneização de ultra alta pressão reduz o tamanho de partículas em líquidos pré-aquecidos, melhorando uniformidade, estabilidade e vida útil do produto, além de otimizar as propriedades funcionais das proteínas vegetais. O campo elétrico pulsado melhora a qualidade e estabilidade de bebidas fermentadas e pasteuriza sucos e vitaminas, mas não é ideal para produtos sólidos não homogêneos. O ultrassom de alta frequência é capaz de modificar a estrutura dos alimentos, promover aumento de taxas de transferência de massa e inativar enzimas e microrganismo, aumentando sua estabilidade e vida útil. É usado na extração de proteínas vegetais,

reduzindo a alergenicidade e fatores antinutricionais. A radiação ultravioleta desinfeta produtos à base de plantas, sendo eficaz em líquidos claros; é acessível, sustentável e não gera resíduos tóxicos.

As tecnologias não térmicas, como alta pressão, campo elétrico pulsado e ultrassom, mostraram-se eficazes ao reduzir a carga microbiana e enzimática sem comprometer as propriedades nutricionais e sensoriais dos alimentos. Embora ofereçam vantagens significativas sobre os métodos tradicionais, questões como a inativação de esporos celulares e a modificação da estrutura proteica requerem estudos adicionais. Ressalta-se também a necessidade de regulamentação dessas tecnologias emergentes para diferentes aplicações e produtos. Nesse sentido, barreiras ainda precisam ser superadas, exigindo mais estudos sobre os efeitos dessas tecnologias em diferentes matrizes alimentares.

REFERÊNCIAS

- Agência nacional de vigilância sanitária (ANVISA). 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2022/confira-o-relatorio-das-oficinas-sobre-alimentos-201cplant-based201d>
- Akharume, F. U., Aluko, R. E., & Adedeji, A. A. (2021). Modification of plant proteins for improved functionality: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(1), 198–224.
- ANTONACCIO, Cynthia. Como ficam as questões regulatórias para os alimentos plant-based? Planta, 2021. Disponível em: <https://planta.vc/como-ficam-as-questoes-regulatorias-para-os-alimentos-plant-based>
- Arzeni C, Martinez K, Zema P et al.: Comparative study of high intensity ultrasound effects on food proteins functionality. *Journal of Food Engineering* 2012; 108:463-472.
- Atilgan, M.R., Yildiz, S., Kaya, Z., Unluturk, S., 2021. 2.16 - Kinetic and process modeling of UV-C irradiation of foods. In: Knoerzer, K., Muthukumarappan, K. (Eds.), *Innovative Food Processing Technologies*. Elsevier, Oxford, pp. 227–255.
- Avelar Z, Vicente AA, Saraiva JA, RodriguesRM. The role of emergente processing technologies in tailoring plant protein functionality: New insights *Trends. Food Sci Technol.* (2021) 113:219–31. doi: 10.1016/j.tifs.2021.05.004
- Aydar, E. F., Tutuncu, S., & Ozcelik, B. (2020). Plant-based milk substitutes: Bioactive compounds, conventional and novel processes, bioavailability studies, and health effects. *Journal of Functional Foods*, 70, Article 103975. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103975>
- Balasubramaniam, V. M. (2021). Process development of high pressure-based technologies for food: Research advances and future perspectives. *Current Opinion in Food Science*, 42, 270–277. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.10.001>
- Bandla, S., Choudhary, R., Watson, D.G., Haddock, J., 2012. UV-C treatment of soymilk in coiled tube UV reactors for inactivation of *Escherichia coli* W1485 and *Bacillus cereus* endospores. *LWT - Food Sci. Technol.* 46, 71–76.
- Bermudez-Aguirre, D. (2020). Advances in the Inactivation of Microorganisms and Viruses in Food and Model Systems Using Cold Plasma. In D. Bermudez-Aguirre (Ed.), *Advances in Cold Plasma Applications for Food Safety and Preservation* (pp.49–91). San Diego, USA: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814921-8.00002-5>.
- BHATTACHARJEE, Chiranjit; SAXENA, V. K.; DUTTA, Suman. Novel thermal and non-thermal processing of watermelon juice. **Trends in Food Science & Technology**, v. 93, p. 234-243, 2019

BOCKER, Ramon; SILVA, Eric Keven. Innovative technologies for manufacturing plant-based non-dairy alternative milk and their impact on nutritional, sensory and safety aspects. **Future Foods**, v. 5, p. 100098, 2022.

Bourke, P., Ziuzina, D., Boehm, D., Cullen, P. J., & Keener, K. (2018). The Potential of Cold Plasma for Safe and Sustainable Food Production. *Trends in Biotechnology*, 36 (6), 615–626. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2017.11.001>

Briviba, K., Gräf, V., Walz, E., Guamis, B., Butz, P., 2016. Ultra high pressure homogenization of almond milk: physico-chemical and physiological effects. *Food Chem.* 192, 82–89.

CANAL AGRO. Plant-based: proteína vegetal ganha espaço no Brasil. 2022b. Disponível em: <https://summitagro.estadao.com.br/noticias-do-campo/plant-based-proteina-vegetal-ganha-espaco-no-brasil/>.

Choudhary, R., Gautam, D., Perez-Alvarado, G., & Kinsel, M. (2013). Effect of high intensity ultrasound treatment in reducing the allergenicity of isolated cow's milk and soy proteins. IFCON 2013 in CFTRI Mysore Dec 18 - 21.

Chutia, H., Kalita, D., Mahanta, C. L., Ojah, N., & Choudhury, A. J. (2019). Kinetics of inactivation of peroxidase and polyphenol oxidase in tender coconut water by dielectric barrier discharge plasma. *LWT*, 101, 625–629. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.071>

CLEGG, Miriam E. et al. A comparative assessment of the nutritional composition of dairy and plant-based dairy alternatives available for sale in the UK and the implications for consumers' dietary intakes. **Food Research International**, v. 148, p. 110586, 2021.

Codina-Torrella, I., Guamis, B., Zamora, A., Quevedo, J. M., & Trujillo, A. J. (2018). Microbiological stabilization of tiger nuts' milk beverage using ultra-high pressure homogenization. A preliminary study on microbial shelf-life extension. *Food Microbiology*, 69, 143–150. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.08.002>

Codina-Torrella, I., Guamis, B., Ferragut, V., Trujillo, A.J., 2017. Potential application of ultra-high pressure homogenization in the physico-chemical stabilization of tiger nuts'milk beverage. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 40, 42–51

COUTINHO, Julia. Vem aí o marco regulatório de alimentos “plant based”! *Food Connection*, 2021. Disponível em: <https://www.foodconnection.com.br/especialistas/vem-ai-o-marco-regulatorio-de-alimentos- %E2%80%9Cplant-based%E2%80%9D>.

CRISTIANINI, Marcelo. TECNOLOGIAS EMERGENTES NO PROCESSAMENTO DE ALIMENTOS. 2022

Crosser, N. (2020). Plant-based meat, eggs, and dairy: 2019 U.S. state of the industry report. (1–14). Good Food Institute. <https://www.gfi.org/industry>

CRUZ, M. D. S. (2021). Mercado de produtos plant-based análogos aos lácteos: Uma revisão do perfil alimentar, processamento e perspectivas futuras.

Cruz, N., Capellas, M., Hernández, M., Trujillo, A.J., Guamis, B., Ferragut, V., 2007. Ultra high pressure homogenization of soymilk: microbiological, physicochemical and microstructural characteristics. *Food Res. Int.* 40, 725–732.

DEFRA. (2020). Family Food Survey 2017/2018. Retrieved from <https://www.gov.uk/government/statistical-data-sets/family-food-datasets>., 1991 Department of Health. (1991). Dietary Reference Values for Food Energy and Nutrients Report of the Panel on Dietary Reference Values of the Committee on Medical Aspects of Food Policy. : Stationary Office, London.

Dhakal, S., Liu, C., Zhang, Y., Roux, K. H., Sathe, S. K., & Balasubramaniam, V. M. (2014). Effect of high-pressure processing on the immunoreactivity of almond milk. *Food Research International*, 62, 215–222.

DIDIER, Dafné. Portaria Nº 327, De 2 de junho de 2021 – SDA/MAPA. Alimentus Consultoria, 2021. Disponível em: <https://alimentusconsultoria.com.br/portaria-no-327-de-2-de-junho-de-2021-sda/>

Dong, S., Guo, P., Chen, Y., Chen, G. yun, Ji, H., Ran, Y., Li, S. hong, & Chen, Y. (2018). Surface modification via atmospheric cold plasma (ACP): Improved functional properties and characterization of zein film. *Industrial Crops and Products*, 115, 124–133. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.01.080>.

EUROMONITOR. 10 principais tendências globais de consumo em 20 lançadas pela Euromonitor International. São Paulo: Euromonitor Internacional, 2020. Disponível em: <https://www.euromonitor.com/article/10-principais-tendencias-globais-de-consumo-em-2020-lancadas-pela-euromonitor-international>.

Farnworth, E. R., Mainville, I., Desjardins, M.-P., Gardner, N., Fliss, I., & Champagne, C. (2007). Growth of probiotic bacteria and bifidobacteria in a soy yogurt formulation. *International Journal of Food Microbiology*, 116, 174e181.

Food and Drug Administration. 2023. Disponível em: <https://www.fda.gov/news-events/press-announcements/fda-provides-draft-labeling-recommendations-plant-based-milk-alternatives-inform-consumers>

Gabrić, D., Barba, F., Roohinejad, S., Gharibzahedi, S. M. T., Radojčin, M., Putnik, P., & Kovačević, D. B. (2017). Pulsed electric fields as an alternative to thermal processing for preservation of nutritive and physicochemical properties of beverages: a review. *Journal of Food Process Engineering*, 41(1), 1-14.10.1111/jfpe.12638

Gally, T.; Rouaud, O.; Jury, V.; Havet, M.; Ogé, A.; Le-Bail, A. Proofing of bread dough assisted by ohmic heating. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 2017, 39, 55–62.

Galván-D'Alessandro, L.; Carciochi, R. Fermentation Assisted by Pulsed Electric Field and Ultrasound: A Review. *Fermentation* 2018, 4, 1.

GFI BRASIL. 2020. Indústria de proteínas alternativas. 2020. Disponível em: https://gfi.org.br/wp-content/uploads/2020/06/GFI_2020_IndProtAlternativas.pdf.

GFI BRASIL. 2022. O consumidor brasileiro e o mercado plant-based. Disponível em: <https://gfi.org.br/wp-content/uploads/2022/12/O-Consumidor-Brasileiro-e-o-Mercado-Plant-based-2022-GFI-Brasil.pdf>

GFI BRASIL. 2022. O mercado brasileiro de carnes e leites vegetais cresceu 42% e 15%, respectivamente, em 2022. Disponível em: <https://gfi.org.br/mercado-brasileiro-de-carnes-e-leites-vegetais-cresceu-42-e-15-respectivamente-em-2022/>

GFI BRASIL. 2023. Para FDA, leite vegetal pode ser chamado de leite, em 2023. Disponível em: <https://gfi.org.br/para-fda-leite-vegetal-pode-ser-chamado-de-leite/>

GFI BRASIL. 2022. Rotulagem plant-based: veja análise do GFI sobre a Nota Técnica do Mapa. Disponível em: <https://gfi.org.br/rotulagem-plant-based-veja-analise-do-gfi-sobre-nota-tecnica-do-mapa/>

Golberg, A., Sack, M., Teissie, J., Pataro, G., Pliquett, U., Saulis, G., Stefan, T., Miklavcic, D., Vorobiev, E., & Frey, W. (2016). Energy-efficient biomass processing with pulsed electric fields for bioeconomy and sustainable development. *Biotechnology for Biofuels*, 9(1), 1-22. 10.1186/s13068-016-0508-z

Guerrero-Beltrán, J.A., Barbosa-Cánovas G.V. 2004. Review: advantages and limitations on processing foods by UV light. *Food Science and Technology International*, 3, (10), 137 - 147.

Han, Y., Cheng, J. H., & Sun, D. W. (2019). Activities and conformation changes of food enzymes induced by cold plasma: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(5), 794–811. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1555131>

J. Chandrapala, G.J.O. Martin, B. Zisu, S.E. Kentish, M. Ashokkumar, The effect of ultrasound on casein micelle integrity, *J. Dairy Sci.* 95 (12) (2012) 6882–6890.

Jambrak , A.R. , Mason , T.J. , Lelas , V. , Herceg , Z. , and Herceg , I.L. (2008) Effect of ultrasound treatment on solubility and foaming properties of whey protein suspensions. *Journal of Food Engineering* 86 ,281 – 287 .

Jermann, C., Koutchma, T., Margas, E., Leadley, C., Ros-Polski, V. (2015). Mapping trends in novel and emerging food processing technologies around the world. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 31, 14-27

Knirsch, M.C.; Alves dos Santos, C.; Martins de Oliveira Soares Vicente, A.A.; Vessoni Penna, T.C. Ohmic heating—A review. *Trends Food Sci. Technol.* 2010, 21, 436–441.

Li, C., Xue, H., Chen, Z., Ding, Q., & Wang, X. (2014). Comparative studies on the physico chemical properties of peanut protein isolate–polysaccharide conjugates prepared by ultrasonic treatment or classical heating. *Food Research International*, 57, 1–7.

Li, H., Yu, J., Ahmedna, M., & Goktepe, I. (2013). Reduction of major peanut allergens Ara h 1 and Ara h 2, in roasted peanuts by ultrasound assisted enzymatic treatment. *Food Chemistry*, 141(2), 762–768. [10.1016/j.foodchem.2013.03.049](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.03.049).

Li, Wu et al. Ultrasound—the physical and chemical effects integral to food processing. 2021.

Li, W., Gamlath, C.J., Pathak, R., Martin, G.J.O., Ashokkumar, M., 2021. 1.21 - Ultrasound – the physical and chemical effects integral to food processing. In: Knoerzer, K., Muthukumarappan, K. (Eds.), *Innovative Food Processing Technologies*. Elsevier, Oxford, pp. 329–358.

Li, Y., Kojtari, A., Friedman, G., Brooks, A. D., Fridman, A., & Ji, H.-F. (2014). Decomposition of l-valine under nonthermal dielectric barrier discharge plasma. *The Journal of Physical Chemistry B*, 118(6), 1612–1620.

Lopez, C., Cauty, C., & Guyomarc'h, F. (2015). Organization of lipids in milks, infant milk formulas and various dairy products: Role of technological processes and potential impacts. *Dairy Science & Technology*, 95(6), 863–893. <https://doi.org/10.1007/s13594-015-0263-0>

Ma, J.; Yang, H.; Chen, Y.; Feng, X.; Wu, C.; Long, F. Purified Saponins in *Momordica charantia* Treated with High Hydrostatic Pressure and Ionic Liquid-Based Aqueous Biphasic Systems. *Foods* 2022, 11, 1930.

Maghsoudlou, Y., Alami, M., Mashkour, M., Shahraki, M.H., 2016. Optimization of ultrasound-assisted stabilization and formulation of almond milk. *J. Food Process. Preserv.* 40, 828–839.

Manzoor, M. F., Ahmad, N., Aadil, R. M., Rahaman, A., Ahmed, Z., Rehman, A., ... Manzoor, A. (2019). Impact of pulsed electric field on rheological, structural, and physicochemical properties of almond milk. *Journal of Food Process Engineering*, 42(8), e13299.

Martínez-Monteagudo, S. I., & Rathnakumar, K. (2021). High-pressure processing: fundamentals, misconceptions, and advances. (pp. 19–38). Elsevier.

McClements, D. J., Newman, E., & McClements, I. F. (2019). Plant-based milks: A review of the science underpinning their design, fabrication, and performance. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(6), 2047–2067. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12505>

McClements, D. J. (2015). *Food emulsions: Principles, practice, and techniques* (2nd ed.). CRC Press.

McClements, D. J. (2020b). Nano-enabled personalized nutrition: Developing multicomponent-bioactive colloidal delivery systems. *Advances in Colloid and Interface Science*, 282. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102211>

McClements, D. J., & Grossmann, L. (2021). The science of plant-based foods: Constructing next-generation meat, fish, milk, and egg analogs. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(4), 4049–4100. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12771>

MENTA, Roberto; ROSSO, Ginevra; CANZONERI, Federico. Plant-Based: A Perspective on Nutritional and Technological Issues. Are We Ready for “Precision Processing”? *Frontiers in Nutrition*, v. 9, p. 878926, 2022.

Misra, N., Schlüter, O., & Cullen, P. (2016). *Fundamentals and applications*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier.

Morales-de la Peña, M.; Miranda-Mejía, G.A.; Martín-Belloso, O. Recent Trends in Fermented Beverages Processing: The Use of Emerging Technologies. *Beverages* 2023, 9, 51. <https://doi.org/10.3390/beverages9020051>

Morales-de la Peña, M., Salvia-Trujillo, L., Rojas-Graü, M.A., Martín-Belloso, O., 2010. Impact of high intensity pulsed electric field on antioxidant properties and quality parameters of a fruit juice–soymilk beverage in chilled storage. *LWT* 43, 872–881.

Morales-de la Peña, M., Salvia-Trujillo, L., Rojas-Graü, M.A., Martín-Belloso, O., 2011. Impact of high intensity pulsed electric fields or heat treatments on the fatty acid and mineral profiles of a fruit juice–soymilk beverage during storage. *Food Control* 22, 1975–1983.

MOURA, Fernanda Barbosa. Estudo comparativo de alguns produtos plant based disponíveis no mercado de forma alternativa ao convencional. 2022.

Mukhopadhyay, S., Ukuku, D.O., 2018. The role of emerging technologies to ensure the microbial safety of fresh produce, milk and eggs. *Curr. Opin. Food Sci.* 19, 145–154.

Naik, M., Natarajan, V., Modupalli, N., & Thangaraj, S. (2022). Pulsed ultrasound assisted extraction of protein from defatted Bitter melon seeds (*Momordica charantia* L.) meal : Kinetics and quality measurements.

Niveditha, A., Pandiselvam, R., Prasath, V. A., Singh, S. K., Gul, K., & Kothakota, A. (2021). Application of cold plasma and ozone technology for decontamination of *Escherichia coli* in foods—A review. *Food Control*, 130, 108338.

Novickij, V., Stanevičienė, R., Staigvila, G., Gruškieienė, R., Sereikaitė, J., Girkontaitė, I., Novickij, J., Servienė, E., 2020. Effects of pulsed electric fields and mild thermal treatment on antimicrobial efficacy of nisin-loaded pectin nanoparticles for food preservation. *LWT* 120, 108915.

Nowacka, M.; Wedzik, M. Effect of ultrasound treatment on microstructure, colour and carotenoid content in fresh and dried carrot tissue. *Appl. Acoust.* 2016, 103, 163–171.

Nunes, L.; Tavares, G.M. Thermal treatments and emerging technologies: impacts on the structure and techno-functional properties of milk proteins. *Trends in Food Science & Technology*, v.90, p.88-89, 2019.

Oliveira, E.M., Hassemer, M.E.N., Bento, A.P., Sartoratto, J., Lapolli, F.R. 2002. Desinfecção e valorização de efluentes sanitários através da radiação ultravioleta. XXVIII Congresso Internacional de Engenharia Sanitária e Ambiental, México, 2.

PANSANI, Daniela Cristina. A Era plant-based cresce sem parar. E agora? Qual o cenário regulatório para esta nova categoria de produto?. *Duas Rodas*, 2021. Disponível em: <https://www.duasrodas.com/blog/legislacao/plant-based-cenario-regulatorio/>.

Poliseli-Scopel, F.H.; Gallardo-Chacón, J.-J.; Juan, B.; Guamis, B.; Ferragut, V. Characterisation of volatile profile in soymilk treated by ultra high pressure homogenisation. *Food Chem.* 2013, 141, 2541–2548.

Possas, A., Valero, A., García-Gimeno, R.M., Pérez-Rodríguez, F., de Souza, P.M., 2018. Influence of temperature on the inactivation kinetics of Salmonella Enteritidis by the application of UV-C technology in soymilk. *Food Control* 94, 132–139.

Prasad, P., Mehta, D., Bansal, V., & Sangwan, R. S. (2017). Effect of atmospheric cold plasma (ACP) with its extended storage on the inactivation of Escherichia coli inoculated on tomato. *Food Research International*, 102, 402–408. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.030>

Puértolas, E.; Koubaa, M.; Barba, F.J. An overview of the impact of electrotechnologies for the recovery of oil and high-value compounds from vegetable oil industry: Energy and economic cost implications. *Food Res.Int.* 2016, 80, 19–26.

Putnik P, Lorenzo JM, Barba FJ, Roohinejad S, RežekJambrak A, Granato D, et al. Novel Food Processing and Extraction Technologies of High Added Value Compounds from Plant Materials. *Foods*. (2018) 7:106.doi: 10.3390/foods7070106

Qin, P., Wang, T., & Luo, Y. (2022). A review on plant-based proteins from soybean: Health benefits and soy product development. *Journal of Agriculture and Food Research*, 7, Article 100265. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100265>

RAMOS, A.M.; TEIXEIRA, L.J.Q.; STRINGHETA, P.C.; CHAVES, J.B.P.; GOMES, J.C. Aplicação de campos elétricos pulsados de alta intensidade na conservação de alimentos. *Revista Ceres*, v. 53, n. 308, p. 425-438, 2006

Rao, M. V., Sengar, A. S., C K, S., & Rawson, A. (2021a). Ultrasonication - A green technology extraction technique for spices: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 116, 975–991. 10.1016/j.tifs.2021.09.006.

Resendiz-Vazquez, J. A., Ulloa, J. A., Urías-Silvas, J. E., Bautista-Rosales, P. U., Ramírez-Ramírez, J. C., Rosas-Ulloa, P., et al., (2017). Effect of high-intensity ultrasound on the technofunctional properties and structure of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) seed protein isolate. *Ultrasonics Sonochemistry*, 37, 436–444. 10.1016/j.ultsonch.2017.01.042.

REVISTA EXAME (2023). Mercado plant-based cresce 42% no Brasil e mira romper barreira de R\$ 1 bi. <https://exame.com/agro/mercado-plant-based-cresce-42-no-brasil-e-mira-romper-barreira-de-r-1-bi/>

R&M. (2020). Global plant-based protein market with focus on plant-based meat: Insights, trends and forecast (2020-2024). <https://www.researchandmarkets.com/reports/4992292/global-plant-based-protein-market-with-focus-on>

Ribeiro, Nathalia, Ramon Silva Rocha, and Adriano Gomes da Cruz. "TECNOLOGIAS EMERGENTES APLICADAS NA AMÉRICA LATINA." *Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente* 2.7 (2021): 23-37. Trends, Brasil Food. "São Paulo: Fiesp, Ital; (2020).

Rodríguez Rodríguez, M. Incorporation of Microencapsulated Iron in Dried Chili Mangoes (*Mangifera indica* L. Var. Ataulfo) with ultrasound pre-treatment. Master's Thesis, Tecnológico de Monterrey, Querétaro, Mexico, 2022.

Sarangapani, C., Patange, A., Bourke, P., Keener, K., & Cullen, P. J. (2018). Recent advances in the application of cold plasma technology in foods. *Annual Review of Food Science and Technology*, 9, 609–629. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030117-012517>

Sethi S, Tyagi SK, Anurag RK (2016) Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: a review. *J Food Sci Technol* 53(9):3408–3423

Sengar, A. S., Rawson, A., Muthiah, M., & Kalakandan, S. K. (2020). Comparison of different ultrasound assisted extraction techniques for pectin from tomato processing waste. *Ultrasonics Sonochemistry*, 61. [10.1016/j.ultsonch.2019.104812](https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104812).

Sharma, D., Shree, B., Kumar, S., Kumar, V., Sharma, S., & Sharma, S. (2022a). Stress induced production of plant secondary metabolites in vegetables: Functional approach for designing next generation super foods. *Plant Physiology and Biochemistry*, 192, 252–272. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.09.034>

Sharma, S., Shree, B., Sharma, D., Kumar, S., Kumar, V., Sharma, R., & Saini, R. (2022c). Vegetable microgreens: The gleam of next generation super foods, their genetic enhancement, health benefits and processing approaches. *Food Research International*, 155, Article 111038. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111038>

Sharafodin, H., & Soltanizadeh, N. (2022). Potential application of DBD Plasma Technique for modifying structural and physicochemical properties of Soy Protein Isolate. *Food Hydrocolloids*, 122, Article 107077. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107077>

Sim, S. Y., Karwe, M. V., & Moraru, C. I. (2019). High pressure structuring of pea protein concentrates. *Journal of Food Process Engineering*, 42(7), e13261.

Simon-Sarkadi, L.; Pásztor-Huszár, K.; Dalmadi, I.; Kiskó, G. Effect of high hydrostatic pressure processing on biogenic amine content of sausage during storage. *Int. Food Res. J.* 2012, 47, 380–384.

Silva, E.K., Rosa, M.T.M.G., Meireles, M.A.A., 2015. Ultrasound-assisted formation of emulsions stabilized by biopolymers. *Curr. Opin. Food Sci.* 5, 50–59.

Soria, A.C., Villamiel, M., 2010. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review. *Trends Food Sci. Technol.* 21, 323–331.

Stinco, C.M., Szczepańska, J., Marszałek, K., Pinto, C.A., Inácio, R.S., Mapelli-Brahm, P., Barba, F.J., Lorenzo, J.M., Saraiva, J.A., Meléndez-Martínez, A.J., 2019. Effect of high-pressure processing on carotenoids profile, colour, microbial and enzymatic stability of cloudy carrot juice. *Food Chem.* 299, 125112.

Sun, F., Xie, X., Zhang, Y., Ma, M., Wang, Y., Duan, J., ... He, G. (2021). Wheat gliadin in ethanol solutions treated using cold air plasma at atmospheric pressure. *Food Bioscience*, 39, Article 100808. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100808>

Surowsky, B., Fischer, A., Schlueter, O., & Knorr, D. (2013). Cold plasma effects on enzyme activity in a model food system. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 19, 146–152. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.04.002>

Szczepańska, J., Barba, F.J., Skąpska, S., Marszałek, K., 2020. High pressure processing of carrot juice: effect of static and multi-pulsed pressure on the polyphenolic profile, oxidoreductases activity and colour. *Food Chem.* 307, 125549.

Taha, A., Casanova, F., Simonis, P., Stankevič, V., Gomaa, M. A., & Stirkė, A. (2022). Pulsed electric field: Fundamentals and effects on the structural and techno-functional properties of dairy and plant proteins. *Food*, 11(11), 1556.

Teixeira, Luciano José Quintão, and Magno Fonseca Santos. "Tecnologias emergentes de concentração e conservação de alimentos." (2021).

Télez-Morales JA, Hernández-Santo B, Rodríguez-Miranda J: Effect of ultrasound on the techno-functional properties of food components/ingredients: A review. *Ultrasonics sonochemistry* 2020; 61:104787.

Ulug, S. K., Jahandideh, F., & Wu, J. (2021). Novel technologies for the production of bioactive peptides. *Trends in Food Science & Technology*, 108, 27–39. [10.1016/j.tifs.2020.12.002](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.12.002).

Valencia-Flores, D.C.; Hern, M.; Guamis, B.; Ferragut, V. Comparing the effects of ultra-high-pressure homogenization and conventional thermal treatments on the microbiological, physical, and chemical quality of almond beverages. *J. Food Sci.* 2013, 78, 199–205.

Vega-Mercado, H., Martín-Belloso, O., Quin, B.L., Chang, F.J. Góngora-Nieto, M.M., Barbosa-Cánovas, G.V., Swanson, B.G. 1997. Non-thermal food preservation: electric fields. *Trends in Food Science & Technology*, 8, 151-157.

Wang, J., Wang, J., Vanga, S. K., & Raghavan, V. (2021a). Influence of high-intensity ultrasound on the IgE binding capacity of Act d 2 allergen, secondary structure, and In-vitro digestibility of kiwifruit proteins. *Ultrasonics Sonochemistry*, 71, Article 105409.

Wu, G., Fanzo, J., Miller, D. D., Pingali, P., Post, M., Steiner, J. L., et al., (2014). Production and supply of high-quality food protein for human consumption: Sustainability, challenges, and innovations. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1321(1),1–19.

Yan, S., Xu, J., Zhang, S., & Li, Y. (2021). Effects of flexibility and surface hydrophobicity on emulsifying properties: Ultrasound-treated soybean protein isolate. *Lwt*, 142(October 2020), Article 110881. 10.1016/j.lwt.2021.110881.

Young, V. R., & Pellett, P. L. (1994). Plant proteins in relation to human protein and aminoacid nutrition. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 59(5), 1203S–1212S.

Yu, J., Chen, G., Zhang, Y., Zheng, X., Jiang, P., Ji, H., ... Chen, Y. (2021). Enhanced hydration properties and antioxidant activity of peanut protein by covalently binding with sesbania gum via cold plasma treatment. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 68, Article 102632. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102632>

Zhang, Q. T., Tu, Z. C., Xiao, H., Wang, H., Huang, X. Q., Liu, G. X., et al., (2014). Influence of ultrasonic treatment on the structure and emulsifying properties of peanut protein isolate. *Food and Bioprocess Processing*, 92(1), 30–37. 10.1016/j.fbp.2013.07.006.

Zhang, Z., Regenstein, J. M., Zhou, P., & Yang, Y. (2017). Effects of high intensity ultrasound modification on physicochemical property and water in myofibrillar protein gel. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 960–967. 10.1016/j.ultsonch.2016.08.008.

Zhang, S., Huang, W., Roopesh, M. S., & Chen, L. (2022). Pre-treatment by combining atmospheric cold plasma and pH-shifting to prepare pea protein concentrate powders with improved gelling properties. *Food Research International*, 154, Article 111028. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111028>

Zhao, Q., Xie, T., Hong, X., Zhou, Y., Fan, L., Liu, Y., et al., (2022). Modification of functional properties of perilla protein isolate by high-intensity ultrasonic treatment and the stability of o/w emulsion. *Food Chemistry*, 368(May 2021), Article 130848.10.1016/j.foodchem.2021.130848.