IJAS INTERNATIONAL JOURNAL OF AGRARIAN SCIENCES - PDVAgro
ISSN: 2764-3425

APLICAÇÃO DE TECNOLOGIAS NÃO TÉRMICAS NA EXTENSÃO DA VIDA ÚTIL DE FRUTAS MINIMAMENTE PROCESSADAS: UMA BREVE REVISÃO

APPLICATION OF NON-THERMAL TECHNOLOGIES IN EXTENDING THE SHELF LIFE OF MINIMALLY PROCESSED FRUITS: A BRIEF REVIEW

DOI: https://doi.org/10.31692/2764-3425/v5i2.798

[1]MARIA SZA AMARAL SANTOS FERREIRA
Universidade Federal de Sergipe (UFS), Departamento de Tecnologia de Alimentos, São Cristóvão – SE, Brasil, mszaamaral@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0009-3835-9784

[2]ANNA SANTOS COSTA
Universidade Federal de Sergipe (UFS), Departamento de Tecnologia de Alimentos, São Cristóvão – SE, Brasil, annasantos616@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0008-1195-6354

[3]ANGELISE DURIGON
Universidade Federal de Sergipe (UFS), Departamento de Tecnologia de Alimentos, São Cristóvão – SE, angelise@academico.ufs.br. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8736-2033

[4]PATRÍCIA BELTRÃO LESSA CONSTANT
Universidade Federal de Sergipe (UFS), Departamento de Tecnologia de Alimentos, São Cristóvão – SE, pblconstant@academico.ufs.br. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7095-940

[5]MARCELO AUGUSTO GUTIERREZ CARNELOSSI
Universidade Federal de Sergipe (UFS), Departamento de Tecnologia de Alimentos, São Cristóvão – SE, carnelossi@academico.ufs.br. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2961-5557

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo analisar, por meio de uma revisão bibliográfica com análises bibliométricas, a aplicação de tecnologias não térmicas na conservação de frutas minimamente processadas, com ênfase em seus mecanismos de ação, efeitos sobre a qualidade e desafios para adoção em escala industrial. A busca bibliográfica foi realizada nas bases *Web of Science*, *Scopus* e *Google Scholar*, considerando artigos publicados entre 2011 e 2025. Dos 83 registros inicialmente recuperados, 67 artigos compuseram o corpus final após a remoção de duplicatas e a aplicação dos critérios de elegibilidade. Foram realizadas uma análise temporal das publicações e a construção de uma rede de coocorrência em Python, visualizada com o auxílio da biblioteca *Matplotlib*, para mapear as relações entre alta pressão hidrostática (APH), plasma frio (PF) e campos elétricos pulsados (CEP) e suas principais aplicações. A análise temporal indicou crescimento recente do interesse científico pelo tema, enquanto a rede evidenciou associações dessas tecnologias com a extensão da vida útil, a inativação de patógenos e a extração de compostos bioativos. Os estudos analisados indicaram que a APH pode favorecer o controle microbiológico e enzimático e a manutenção de compostos bioativos e atributos sensoriais. O PF apresentou potencial para a descontaminação de superfícies, embora seus efeitos sobre a qualidade dependam da matriz e das condições de tratamento. O CEP esteve associado à redução microbiana e ao uso como pré-tratamento em operações como secagem e descascamento, apesar da ocorrência de alterações de textura em determinadas condições. Conclui-se que essas tecnologias apresentam potencial para ampliar a segurança e a vida útil de frutas minimamente processadas, mas sua consolidação industrial requer padronização dos processos, estudos em maior escala e avaliações econômicas e ambientais.

Palavras-chave: Conservação de alimentos, pós-colheita, tecnologia emergente.

ABSTRACT

This study aimed to analyze, through a literature review with bibliometric analyses, the application of non-thermal technologies in the preservation of minimally processed fruits, with emphasis on their mechanisms of action, effects on quality, and challenges associated with industrial-scale adoption. The literature search was conducted in the *Web of Science*, *Scopus*, and *Google Scholar* databases and included articles published between 2011 and 2025. Of the 83 records initially retrieved, 67 articles comprised the final corpus after duplicate removal and application of the eligibility criteria. A temporal analysis of the publications was performed, and a co-occurrence network was constructed in Python and visualized using the *Matplotlib* library to map the relationships between high hydrostatic pressure (HHP), cold plasma (CP), and pulsed electric fields (PEF) and their main applications. The temporal analysis indicated a recent increase in scientific interest in this field, whereas the network revealed associations between these technologies and shelf-life extension, pathogen inactivation, and bioactive compound extraction. The analyzed studies indicated that HHP may contribute to microbial and enzymatic control while maintaining bioactive compounds and sensory attributes. CP showed potential for surface decontamination, although its effects on quality depend on the food matrix and treatment conditions. PEF was associated with microbial reduction and its use as a pretreatment for operations such as drying and peeling, despite reported changes in texture under certain conditions. It was concluded that these technologies have the potential to improve the safety and shelf life of minimally processed fruits; however, their industrial consolidation requires process standardization, larger-scale studies, and economic and environmental assessments.

Keywords: Food preservation, postharvest, emerging technology.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por alimentos frescos, prontos para o consumo e saudáveis impulsionou o desenvolvimento do setor de frutas minimamente processadas (Gomes *et al*., 2023). Esse segmento, no entanto, enfrenta um desafio significativo, a elevada perecibilidade dos produtos, ocasionada por danos celulares provocados durante o processamento, o que favorece o escurecimento enzimático, a perda de textura, a oxidação de compostos bioativos e o crescimento microbiano (Faisal *et al*., 2025).

Métodos tradicionais de conservação, como os tratamentos térmicos, não são indicados para frutas minimamente processadas, pois comprometem sua integridade e podem descaracterizar o produto (Misra *et al*., 2017; Xia *et al*., 2023). Nesse contexto, as tecnologias não térmicas emergentes podem ser alternativas promissoras para prolongar a vida útil dos produtos minimamente processados, preservando ao mesmo tempo sua qualidade original da hortaliça fresca (Silveira Alexandre et al., 2022). Tais tecnologias incluem o uso de alta pressão hidrostática, plasma frio e campo elétrico pulsado, cujos mecanismos de ação variam desde a alteração da permeabilidade da membrana celular até a geração de espécies reativas de oxigênio com efeitos antimicrobianos são exemplos de tratamentos não térmicos que podem ser aplicados a produtos minimamente processados (Cristianini *et al*., 2023; Baptista *et al*., 2016).

As tecnologias não térmicas têm se destacado como alternativas promissoras aos métodos convencionais de conservação por possibilitarem a manutenção de atributos sensoriais, nutricionais e funcionais de frutas e hortaliças minimamente processadas, preservando características como cor, textura, sabor e teor de compostos bioativos. Entretanto, a eficiência dessas tecnologias na inativação de microrganismos, no controle da atividade enzimática e na extensão da vida útil varia conforme fatores intrínsecos e extrínsecos, incluindo a espécie vegetal, o estágio de maturação, as propriedades da matriz alimentar e as condições operacionais empregadas durante o processamento. Além disso, aspectos relacionados à otimização dos parâmetros de tratamento, à viabilidade econômica e à adaptação em escala industrial ainda representam desafios para sua ampla aplicação comercial (Jadhav e Choudhary, 2024; Chaudhary *et al*., 2025; Ağagündüz *et al*., 2025). Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo realizar uma revisão bibliográfica associada a análises bibliométricas sobre a aplicação de tecnologias não térmicas na conservação de frutas e hortaliças minimamente processadas, visando identificar tendências de pesquisa, principais tecnologias empregadas, avanços científicos e perspectivas para o seto.

METODOLOGIA DA REVISÃO

O estudo trata-se de uma pesquisa básica, exploratória, bibliométrica e descritiva, onduzida via revisão bibliográfica para mapear a literatura, fundamentar o tema, identificar lacunas teóricas e evitar duplicidades (Fernandez, 2019). A busca bibliográfica foi realizada nas bases *Web of Science*, *Scopus* e *Google Scholar*, utilizando estratégias adaptadas aos mecanismos de busca de cada plataforma. Os descritores foram organizados em três blocos conceituais, relacionados às tecnologias não térmicas, aos frutos minimamente processados e à conservação pós-colheita, e combinados por meio dos operadores booleanos *AND* e *OR*. As estratégias de buscas são apresentadas abaixo:

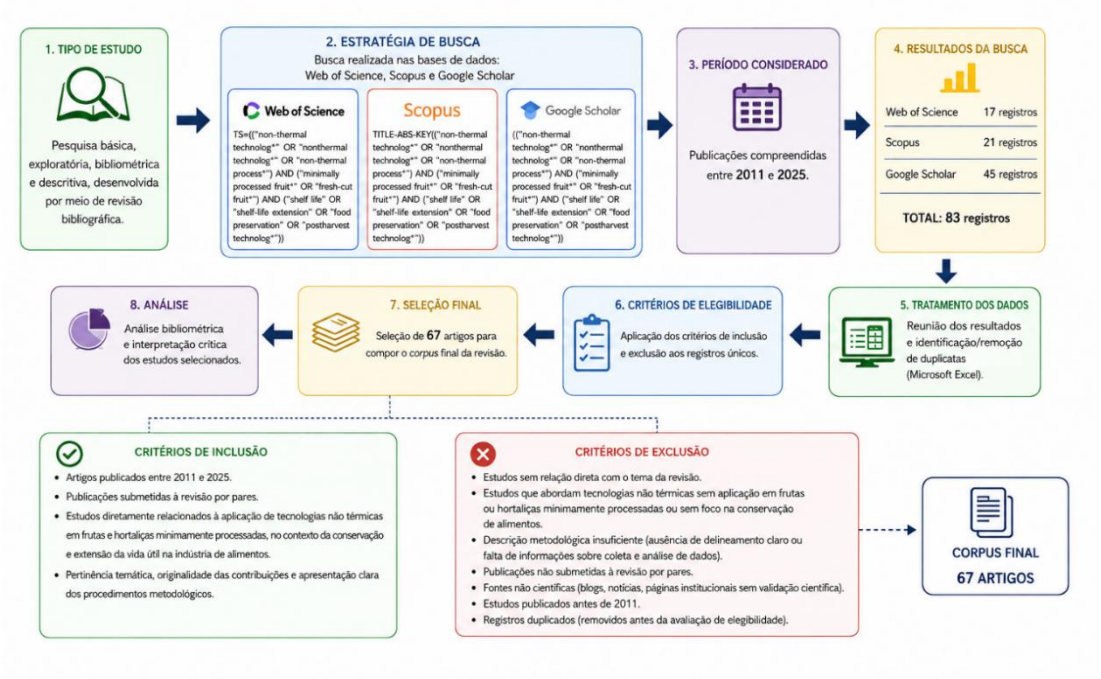
Web of Science: TS=(("non-thermal technolog" OR "nonthermal technolog*" OR "non-thermal process*") AND ("minimally processed fruit*" OR "fresh-cut fruit*") AND ("shelf life" OR "shelf-life extension" OR "food preservation" OR "postharvest technolog*"))*

Scopus: TITLE-ABS-KEY(("non-thermal technolog" OR "nonthermal technolog*" OR "non-thermal process*") AND ("minimally processed fruit*" OR "fresh-cut fruit*") AND ("shelf life" OR "shelf-life extension" OR "food preservation" OR "postharvest technolog*"))*

Google Scholar: (("non-thermal technolog" OR "nonthermal technolog*" OR "non-thermal process*") AND ("minimally processed fruit*" OR "fresh-cut fruit*") AND ("shelf life" OR "shelf-life extension" OR "food preservation" OR "postharvest technolog*"))*

A combinação dos descritores e operadores booleanos possibilitou uma busca abrangente e, simultaneamente, direcionada ao tema proposto. Foram consideradas publicações compreendidas entre 2011 e 2025. O recorte temporal foi definido por abranger os últimos quinze anos de desenvolvimento científico na área, período caracterizado pela intensificação das pesquisas relacionadas à aplicação de tecnologias não térmicas na conservação de frutas e hortaliças minimamente processadas, permitindo identificar a evolução das abordagens, tendências de pesquisa e avanços tecnológicos mais relevantes.. Após a aplicação das estratégias de busca, foram recuperados 17 registros na *Web of Science*, 21 na *Scopus* e 45 no *Google Scholar*, totalizando 83 registros. Os resultados foram reunidos e submetidos à identificação e remoção de duplicatas pela ferramenta *Microsoft excel*. Em seguida, foram aplicados os critérios de elegibilidade, resultando na seleção de 67 artigos para compor o corpus final da revisão. Na figura 1 está apresentado o esquema da metodologia.

Figura 1 – Fluxograma da metodologia

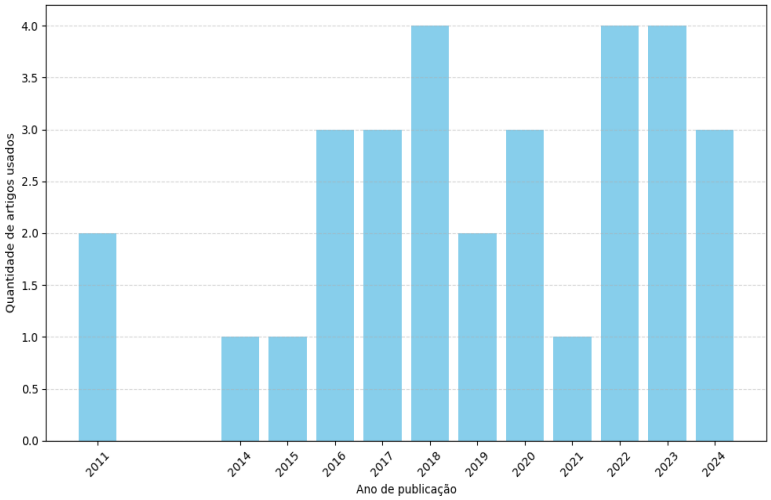


Como critérios de inclusão, foram considerados artigos publicados no período estabelecido, submetidos à revisão por pares e diretamente relacionados à aplicação de tecnologias emergentes em frutas e hortaliças minimamente processadas, especialmente no contexto da conservação e da extensão da vida útil desses produtos na indústria de alimentos. Também foram consideradas a pertinência temática, a originalidade das contribuições e a apresentação clara dos procedimentos metodológicos empregados. Foram excluídos os estudos que não apresentavam relação direta com o tema da revisão, que abordavam as tecnologias emergentes sem aplicação em frutas ou hortaliças minimamente processadas ou que não contemplavam sua utilização na conservação de alimentos. Também foram descartados trabalhos com descrição metodológica insuficiente, caracterizada pela ausência de delineamento claro ou pela falta de informações sobre os métodos de coleta e análise dos dados. Publicações não submetidas à revisão por pares, fontes não científicas, como blogs, notícias e páginas institucionais sem validação científica, e estudos publicados antes de 2011 também foram excluídos. Os registros duplicados foram removidos antes da etapa de avaliação da elegibilidade. Para a elaboração dos gráficos bibliométricos, os metadados dos artigos selecionados foram extraídos, organizados e processados em linguagem Python, versão 3.12.13, com o auxílio da biblioteca *Matplotlib*, versão 3.10.0. As representações gráficas foram exportadas nos formatos PNG, com resolução de 300 dpi, PDF e SVG.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a visualização da evolução temporal das publicações sobre a aplicação das tecnologias emergentes não térmicas em alimentos minimamente processados, foi elaborado um gráfico de barras contendo a quantidade de artigos publicados por ano (Figura 2).

Figura 2 – Distribuição de artigos usados no trabalho por ano



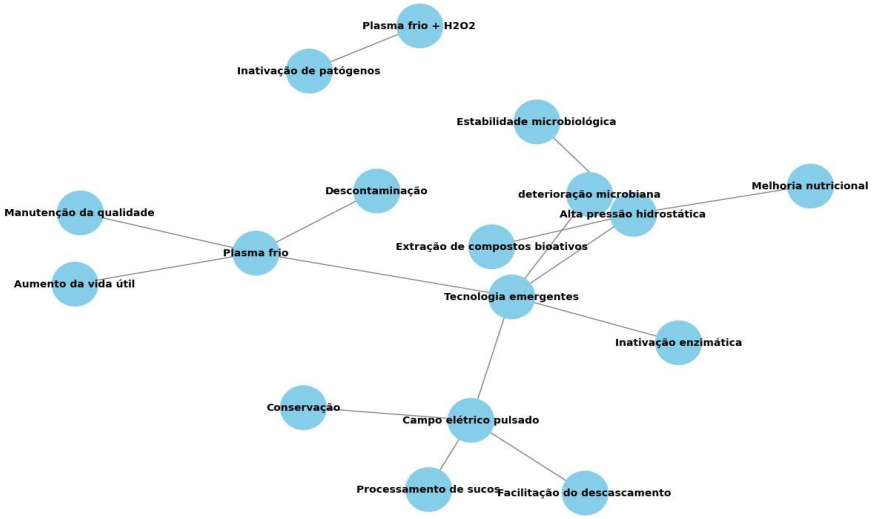
Fonte: Própria.

Observa-se uma concentração de publicações a partir de 2015, o que indica uma tendência crescente de interesse pela temática e reforça a atualidade dos dados analisados. A ausência de publicações nos anos de 2012 e 2013 pode ser atribuída ao fato de que, nos critérios de inclusão, priorizou-se artigos mais recentes ou que abordassem diretamente tecnologias emergentes aplicadas especificamente a alimentos minimamente processados, o que reduziu o número de estudos elegíveis nesse intervalo. Dessa forma, a lacuna não reflete uma falha metodológica, mas sim a escassez de publicações relevantes para os objetivos da presente revisão nesse período. Com o objetivo de ilustrar as relações entre tecnologias emergentes e suas principais aplicações na indústria de alimentos, foi construído um grafo (Figura 3) de coocorrência.

A rede de coocorrência apresentada na Figura 3 evidencia as principais relações entre as tecnologias não térmicas e suas aplicações em frutas minimamente processadas. O termo "tecnologias emergentes" ocupa uma posição central na rede, conectando-se ao plasma frio, ao campo elétrico pulsado, à alta pressão hidrostática e à inativação enzimática. A palavra plasma frio mostrou associação com a descontaminação, o aumento da vida útil e a manutenção da qualidade, enquanto sua aplicação combinada com peróxido de hidrogênio (H_2O_2) esteve relacionada à inativação de patógenos. A palavra alta pressão hidrostática

apresentou conexões com a estabilidade microbiológica, o controle da deterioração microbiana, a melhoria nutricional e a extração de compostos bioativos. Por sua vez, a palavra campo elétrico pulsado esteve associado à conservação, ao processamento de sucos e à facilitação do descascamento. De maneira geral, a rede demonstra que essas tecnologias são investigadas principalmente por sua capacidade de controlar alterações microbiológicas e enzimáticas, preservar atributos de qualidade e favorecer a extensão da vida útil dos produtos. Ressalta-se, entretanto, que as conexões representam a ocorrência conjunta dos termos nos artigos analisados e não indicam, isoladamente, maior eficiência de uma tecnologia em relação às demais.

Figura 3 – Grafo de coocorrência a partir dos termos extraídos dos títulos e resumos.



Fonte: Própria.

TECNOLOGIAS EMERGENTES NÃO TÉRMICAS

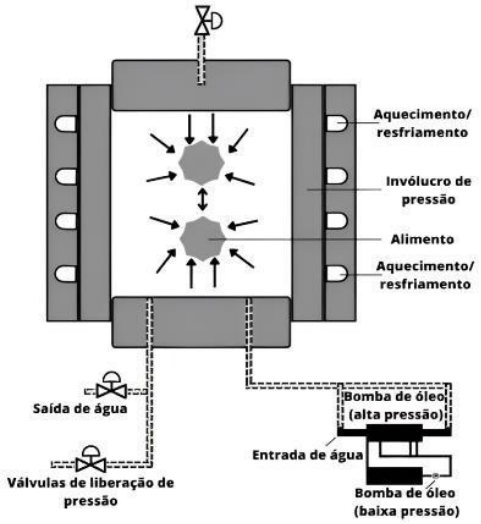
Alta pressão hidrostática (APH)

As tecnologias de processamento não térmico têm despertado interesse por parte da indústria de alimentos, devido à sua capacidade de conservar as características sensoriais e nutricionais dos produtos, ao mesmo tempo em que garantem a segurança microbiológica (Özkan-karabacak, İncedayi e Çopur, 2019). Dentre essas tecnologias emergentes, destaca-se o uso da alta pressão hidrostática (Figura 4), que vem sendo amplamente estudada e aplicada em diferentes matrizes alimentares por sua eficácia na inativação de microrganismos patogênicos e deteriorantes, sem provocar alterações térmicas significativas na estrutura dos alimentos (Huang *et al*., 2014).

A tecnologia de Alta Pressão Hidrostática (APH), aplica pressões elevadas (100 MPa

- 600 Mpa) em alimentos embalados em recipientes flexíveis. O processo ocorre em câmaras preenchidas com um fluido transmissor de pressão, comumente água, mas também podendo ser óleo ou etanol, que permite a distribuição uniforme da pressão por todo o alimento. Esse processo promove a inativação de microrganismos patogênicos e deteriorantes, além de enzimas indesejadas, sem a necessidade de calor, preservando características sensoriais e nutricionais dos alimentos o que a consolida como um método não térmico eficaz para pasteurização e extensão da vida útil (Lee *et al*., 2018; Cristianini *et al*., 2023)

Figura 4 - Modelo esquemático de um sistema de alta pressão hidrostático



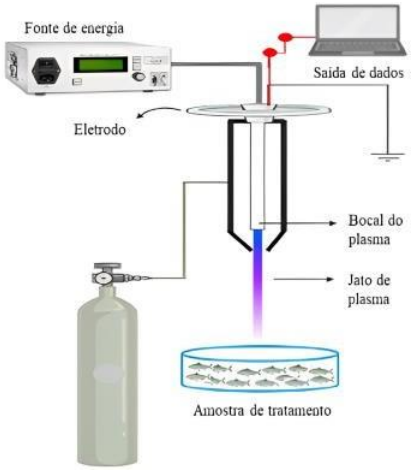
Fonte: Adaptado de Chawla *et al.* (2011)

A aplicação da APH em frutas e hortaliças tem se destacado como uma tecnologia eficaz para inativar enzimas responsáveis por reações indesejáveis, como o escurecimento enzimático e a degradação de compostos bioativos (Balasubramaniam *et al.*, 2015; Mok *et al*., 2020, Marciniak *et al*., 2018). Estudos como o de De Ancos *et al.* (2020) demonstram que pressões de 400 a 600 MPa reduzem significativamente a atividade de enzimas como a polifenoloxidase (PPO) e a peroxidase (POD), sem comprometer a integridade de nutrientes sensíveis, como vitaminas, compostos fenólicos e pigmentos naturais. Em sucos de laranja e maracujá, a APH preservou níveis de carotenoides, flavonoides e vitamina C, preservando propriedades sensoriais e antioxidantes do produto. Além disso, a APH pode melhorar a extração e a biodisponibilidade de compostos bioativos em frutas e vegetais, contribuindo para maior valor nutricional e vida útil prolongada (De Ancos *et al*., 2020; Zou *et al*., 2024).

Plasma frio (PF)

Nos últimos dez anos, o plasma frio (PF) destacou-se como uma alternativa não térmica, sustentável, multifuncional e de baixo custo para o processamento de alimentos. Sua eficácia na inativação de patógenos e esporos decorre da abundância de espécies reativas de oxigênio e nitrogênio presentes no gás parcialmente ionizado, composto por íons, elétrons e radiação UV (Pasquali et al., 2015) (Figura 5). Essa tecnologia inativa microrganismos de superfície, elimina contaminantes orgânicos, degrada micotoxinas e pesticidas, além de descontaminar embalagens, superfícies e alimentos (Thirumdas et al., 2015; Machala e Pavlovich, 2018). Assim, o PF aprimora a qualidade microbiológica de frutas e hortaliças preservando suas propriedades físico-químicas, fisiológicas e funcionais (Bahrami et al., 2016; Thirumdas et al., 2016; Bourke et al., 2018).

Figura 5 - Esquema do processo por jato de plasma



Fonte: Laroque *et al.* (2022).

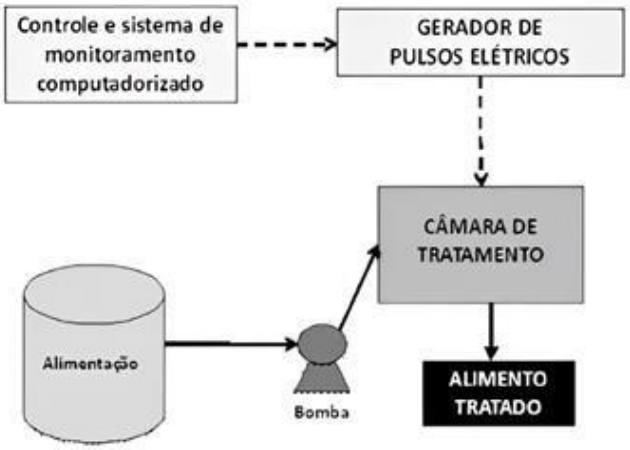
Diversos estudos têm demonstrado o potencial do PF na descontaminação microbiana e à preservação da qualidade pós-colheita de frutas e hortaliças (Mao *et al*., 2021 Em tomates, o PF atmosférico reduziu a degradação da clorofila (Jia et al. 2022), enquanto em fatias de maçã preservou a firmeza e a coloração durante o armazenamento, indicando sua eficácia na manutenção da qualidade sensorial . Além disso, a tecnologia inativa eficazmente patógenos em morangos (Li et al., 2019), alface (Tan e Karwe, 2021), maçãs (Song e Fan, 2020) e tomates (Fan, Vinyard e Song, 2022) sem comprometer os atributos sensoriais, consolidando-se como alternativa sustentável para a segurança e qualidade de produtos frescos (Singh e Thakur, 2024).

Campo elétrico pulsado (CEP)

O campo elétrico pulsado (CEP) é uma tecnologia não térmica em expansão que oferece vantagens em relação aos tratamentos térmicos convencionais, como baixo consumo

energético, menor tempo de processamento e preservação de atributos nutricionais, sensoriais (sabor, cor e textura) e de compostos termossensíveis (Morales-De La Peña et al., 2021). Conforme a Figura 6, o processo aplica pulsos elétricos de baixa, moderada ou alta intensidade sem aquecimento significativo, inativando enzimas e microrganismos. O CEP também aprimora a transferência de calor e massa, servindo como pré-tratamento para congelamento, aquecimento ou secagem e consolidando-se como uma alternativa inovadora para a qualidade de produtos minimamente processados (Wang et al., 2020; Zhang et al., 2021; Zhang et al., 2022)

Figura 6 - Etapas envolvidas na aplicação de pulsos elétricos em alimentos.



Fonte: Cristianni *et al*. (2023).

O tratamento com CEP facilita o descascamento de tomates e kiwis ao reduzir a força necessária para a remoção da casca, preservando melhor as propriedades físico-químicas em comparação ao branqueamento térmico e alcalino (Giancaterino e Jaeger, 2023). Como pré-tratamento na secagem de damascos, o CEP aprimorou a capacidade antioxidante e o perfil metabólico do produto final (Liu et al., 2024). Em vegetais folhosos, como o espinafre, a aplicação de CEP em microsegundos permitiu a inativação microbiana via eletroporação reversível sem alterações perceptíveis ao consumidor, demonstrando a viabilidade técnica do processo em produtos frescos (Rosenzweig et al., 2023)

MECANISMOS DE AÇÃO SOBRE MICRORGANISMOS E ENZIMAS DETERIORANTES

Campo elétrico pulsado (CEP)

Os campos elétricos pulsados (CEP) aplicam pulsos de alta voltagem que promovem a eletropermeabilização e a formação de poros nas membranas celulares de microrganismos

e tecidos vegetais. Esse processo desencadeia transferência de massa, desestabilização celular e lise, resultando na inativação microbiana (Zhang et al., 2022; Bocker e Silva, 2022; Ashrafudoulla et al., 2023; Ghoshal, 2023). Além disso, o CEP inativa eficazmente enzimas como polifenoloxidase (PPO) e peroxidase (POD), responsáveis pelo escurecimento de frutas e hortaliças, enquanto preserva a estabilidade microbiológica, os atributos sensoriais e compostos bioativos, como fenóis e vitaminas (Brito e Silva, 2024).

Plasma Frio (PF)

O plasma frio (PF) utiliza gases ionizados à temperatura ambiente para gerar espécies reativas de oxigênio e nitrogênio que alteram membranas celulares, proteínas e material genético microbiano, promovendo sua inativação. A eficiência do PF depende do tipo de gás, da umidade relativa e do tempo de exposição (Muhammad et al., 2018; Pankaj et al., 2018). Essa inativação microbiana foi demonstrada em maçãs (Bhide et al., 2017), peras (Wang et al., 2012), mirtilos (Dong e Yang, 2019), morangos (Bogdanov et al., 2018), uvas (Moon et al., 2016), melão em pedaços (Tappi et al., 2019), manga (Perni et al., 2008) e pitaia (Li et al., 2019), sendo eficaz contra patógenos como Escherichia coli, Salmonella spp., Listeria spp., além de bolores e leveduras.

Alta pressão hidrostática (APH)

A tecnologia de alta pressão hidrostática (APH) tem se consolidado como uma alternativa eficaz e não térmica para a preservação de frutas e hortaliças minimamente processadas, com destaque para sua capacidade de inativar microrganismos e enzimas deteriorantes sem comprometer os atributos sensoriais e nutricionais dos alimentos. Estudos recentes demonstram que a APH, aplicada em faixas de 300 a 600 MPa, é capaz de reduzir significativamente a carga microbiana, atuando contra patógenos e microorganismos deteriorantes, ao mesmo tempo em que mantém compostos bioativos e vitaminas sensíveis ao calor (Ravichandran *et al*., 2023; Waghmare, 2024).

Em frutas como maçã, melão e pera, a aplicação de 550 MPa por 3 minutos resultou em uma melhoria na estabilidade microbiológica e no prolongamento da vida útil do produto, mesmo que a completa inativação de enzimas como a polifenoloxidase (PPO) não tenha sido totalmente alcançada (Lopes *et al*., 2024). Além dos efeitos antimicrobianos, a APH também exerce impacto sobre as enzimas endógenas responsáveis por alterações indesejadas, como escurecimento e perda de textura (Terefe, Buckow e Versteeg, 2014).

EFEITOS SOBRE CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E SENSORIAIS

Alta pressão hidrostática

A aplicação da (APH) tem demonstrado efeitos significativos nas características físico-químicas e sensoriais de frutas e hortaliças minimamente processadas, preservando a qualidade e prolongando a vida útil dos produtos (Ravichandran *et al*., 2023). A APH mantém ou aprimora atributos sensoriais, como cor, textura e sabor, em comparação com métodos térmicos tradicionais. Em purê de maracujá amarelo (600 MPa por 5 minutos), a tecnologia preservou a cor e os compostos aromáticos, resultando maior aceitação sensorial pelos consumidores em relação ao tratamento térmico convencional (Niu *et al.*, 2023). Em melões minimamente processados, o tratamento por APH reduziu em 4 log de UFC/g a contagem de mesófilos aeróbios totais, leveduras e bolores (Lopes et al., 2024).

Campo elétrico pulsado (CEP)

No estudo conduzido por Wang *et al*. (2023), os resultados indicaram que o tratamento por campo elétrico pulsado (CEP) teve uma influência significativa sobre a textura de frutas e hortaliças minimamente processadas, atuando de forma menos agressiva em comparação aos tratamentos térmicos convencionais. Os autores observaram que as cenouras submetidas ao CEP apresentaram menor degradação dos tecidos, o que resultou na preservação da firmeza e na redução da perda de integridade celular, fatores diretamente relacionados à manutenção da textura do produto. Em contraste, os tratamentos térmicos promoveram aumento da diferença total de cor (ΔE), redução da força de corte e maior dano celular. Dessa forma, o CEP se mostra uma alternativa promissora para a preservação das características sensoriais, especialmente a textura, em vegetais minimamente processados.

Plasma frio (PF)

No estudo de Mao *et al*. (2021), observou-se que, de modo geral, o plasma frio preserva a firmeza de produtos como morangos, maçãs, melões e tomates-cereja, mantendo suas características texturais próximas às dos produtos não tratados. Entretanto, em frutas mais sensíveis, como mirtilos, foram relatadas reduções na firmeza, atribuídas ao dano mecânico causado por fluxos de ar intensos e ao aumento de temperatura durante o tratamento. Além disso, fatores como a composição da atmosfera durante o processamento influenciam os resultados; por exemplo, ambientes ricos em oxigênio demonstraram melhor retenção de firmeza em comparação com atmosferas ricas em nitrogênio.

Estudos recentes destacam o potencial das tecnologias não térmicas para o setor

alimentício. Como sintetizado na Tabela 1, a aplicação dessas técnicas em frutas minimamente processadas promove incremento significativo na concentração de antioxidantes. No entanto, a eficiência do processo varia conforme a matriz e os parâmetros operacionais. Em abacaxis minimamente processados, a APH (300 MPa/10 min) conservou a firmeza, a cor, os compostos bioativos e os atributos microbiológicos e sensoriais por 16 dias sob refrigeração, superando o processamento mínimo isolado (Kundukulangara Pulissery et al., 2021). Cabe ressaltar que os aumentos em polifenóis, flavonoides e vitamina C decorrem da maior extração por permeabilização celular sob pressão, não configurando enriquecimento nutricional.

Tabela 1- Estudos recentes da aplicação de tecnologias emergentes não térmicas em frutas e hortaliças minimamente processadas

Tecnologia não térmica	Fruta/hortaliça	Resultado obtido	Referência
Alta pressão hidrostática	Maça	Aumento de 75% nos flavonóis totais, 29% nos ácidos hidroxicinâmicos, 58% nos flavan-3-óis, 63% nos dihidrocalconas e 54% nos compostos fenólicos totais na maça tratada com a tecnologia.	Fernández-Jalão, Sánchez-Moreno e De Ancos, (2019)
Alta pressão hidrostática	Manga	Aumento no conteúdo de vitamina C, compostos fenólicos totais, flavonoides e carotenoides, além de maior atividade antioxidante.	Pan *et al*. (2021)
Alta pressão hidrostática	Abacaxi	O tratamento por APH (300 MPa/10 min) em abacaxis minimamente processados preservou a firmeza, a cor, os compostos bioativos (flavonoides, polifenóis e vitamina C) e a qualidade sensorial e microbiológica por 16 dias sob refrigeração, superando o processamento mínimo isolado, que apresentou degradação acentuada dos parâmetros.	Kundukulangara Pulissery *et al*. (2021).
Alta pressão hidrostática	Abobora	O tratamento a 400 MPa por 5 minutos foi o mais eficaz na preservação da qualidade de abóboras minimamente processadas, inativando	Paciulli *et al*. (2019)

		enzimas, mantendo a firmeza e promovendo aumento da atividade antioxidante durante 2 meses de refrigeração.	
Campo elétrico pulsado	Cenoura	O estudo avaliou o efeito do (CEP) na atividade e termoestabilidade da enzima ácido ascórbico oxidase (AAO) em purê de cenoura minimamente processado. Observou-se que, em energias de até 400 kJ/kg, os parâmetros cinéticos da enzima pouco se alteraram, mas acima de 500 kJ/kg houve mudanças significativas. Além disso, o tratamento com CEP reduziu a estabilidade térmica da AAO, tornando-a mais suscetível à inativação por calor.	Leong e oey, (2014)
Campo elétrico pulsado	Mirtilos	O tratamento com (CEP) combinado com ácido peracético reduziu até 3 log de *E. coli* e *Listeria* em mirtilos minimamente processados, sem alterar cor ou aparência. Houve leve amolecimento, mas aumento de 10% nos antocianinas e 25% nos compostos fenólicos, indicando melhoria na segurança e valor nutricional da fruta.	Jin, Yu e Gurtler, (2017)
Plasma frio	Diversa	O uso de plasma frio mostrou-se eficaz na descontaminação e extensão da vida útil de frutas e hortaliças frescas, sem comprometer suas características sensoriais e nutricionais.	Pathare *et al*. (2023)

Fonte: Própria.

Jin *et al*. (2017) também demonstraram a possibilidade de conciliar segurança microbiológica e manutenção da qualidade mediante a aplicação de campos elétricos pulsados em mirtilos inteiros. O tratamento combinado com 60 ppm de ácido peracético proporcionou reduções de 2 a 3 ciclos logarítmicos da microbiota natural, de *Escherichia coli* K12 e de *Listeria innocua*, sem alterar a cor ou a aparência dos frutos. Entretanto, foi observado amolecimento dos mirtilos, indicando que a preservação visual não correspondeu à manutenção integral da textura. Os aumentos de 10% no teor de antocianinas e de 25% nos compostos fenólicos representam um efeito nutricional favorável, mas o emprego conjunto do ácido peracético impede atribuir a redução microbiana exclusivamente aos campos elétricos pulsados. Em uma perspectiva mais ampla, Pathare *et al.* (2023) corroboram o potencial do plasma frio para descontaminar frutas e hortaliças frescas e prolongar sua vida útil sem perdas expressivas de qualidade sensorial e nutricional. Contudo, os autores ressaltam que sua eficiência depende do tipo de produto, das características superficiais, da carga microbiana inicial e dos parâmetros operacionais. Assim, os três trabalhos demonstram o potencial das tecnologias não térmicas, mas também indicam que seus resultados não constituem protocolos universais: as condições precisam ser otimizadas para cada matriz, considerando possíveis alterações de textura e a contribuição de tratamentos combinados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As tecnologias não térmicas, como a alta pressão hidrostática (APH), o plasma frio (PF) e os campos elétricos pulsados (CEP), apresentam potencial para a conservação de frutas minimamente processadas, favorecendo o controle microbiológico e enzimático com preservação de atributos sensoriais, nutricionais e de compostos bioativos. Entretanto, seus efeitos variam conforme a matriz alimentar e as condições de processamento, além de ocasionar alterações indesejáveis, como o amolecimento dos tecidos. Assim, embora reduzam a necessidade dos tratamentos térmicos e ampliem a vida útil, sua eficiência e sustentabilidade devem ser avaliadas individualmente para cada aplicação.

As principais limitações desta revisão incluem a brevidade da abordagem, o recorte temporal e a heterogeneidade das matrizes, parâmetros e métodos analíticos dos estudos compilados, o que dificulta a comparação direta dos dados. Pesquisas futuras devem priorizar a padronização de protocolos, a comparação em condições equivalentes e a avaliação de métodos combinados. Ademais, estudos em escala piloto e industrial são essenciais para investigar a estabilidade prolongada, a aceitação sensorial, a segurança microbiológica e a viabilidade socioeconômica e ambiental dessas tecnologias.

REFERÊNCIAS

AĞAGÜNDÜZ, D., AYAKDAŞ, G., KATIRCIOĞLU, B., OZOGUL, F. Advances in non-thermal food processing: a comprehensive approach to nutrient retention, food quality, and safety. **Sustainable Food Technology**, v. 3, p. 1284–1308, 2025

ASHRAFUDOULLA, M., ULRICH, M. S., TOUSHIK, S. H., NAHAR, S., ROY, P. K., MIZAN, F. R., HA, S. D. Challenges and opportunities of non-conventional technologies concerning food safety. **World's Poultry Science Journal**, v. 79, n. 1, p. 3-26, 2023.

BAHRAMI, N., BAYLISS, D., CHOPE, G., PENSON, S., PEREHINEC, T., FISK, I. D. Cold plasma: A new technology to modify wheat flour functionality. **Food Chemistry**, v. 202, p. 247-253, 2016.

BALASUBRAMANIAM, V. M.; MARTINEZ-MONTEAGUDO, S. I.; GUPTA, R. Principles and application of high pressure-based technologies in the food industry. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 6, p. 435-462, 2015.

BAPTISTA, I.; ROCHA, S. M.; CUNHA, A.; SARAIVA, J. A.; ALMEIDA, A. Inactivation of *Staphylococcus aureus* by high pressure processing: An overview. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 36, p. 128-149, 2016.

BHIDE, S., SALVI, D., SCHAFFNER, D. W., KARWE, M. V. Effect of surface roughness in model and fresh fruit systems on microbial inactivation efficacy of cold atmospheric pressure plasma. **Journal of food protection**, v. 80, n. 8, p. 1337-1346, 2017.

BOCKER, R; SILVA, E. K. 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.

BOGDANOV, T., TSONEV, I., MARINOVA, P., BENOVA, E., RUSANOV, K., RUSANOVA, M., KRČMA, F. Microwave plasma torch generated in argon for small berries surface treatment. **Applied Sciences**, v. 8, n. 10, p. 1870, 2018.

BOURKE, P.; ZIUZINA, D.; BOEHM, D.; CULLEN, P. J.; KEENER, K. The potential of cold plasma for safe and sustainable food production. **Trends in Biotechnology**, v. 36, n. 6, p. 615-626, 2018.

BRITO, I. P. C; SILVA, E. K. Pulsed electric field technology in vegetable and fruit juice processing: A review. **Food Research International**, p. 114207, 2024.

CHAWLA, R.; PATIL, G. R.; SINGH, A. K. High hydrostatic pressure technology in dairy processing: A review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 48, p. 260-268, 2011.

CHAUDHARY, K., KHALID, S., ALTEMIMI, A. B., ABRAR, S., ANSAR, S., ASLAM, N., AADIL, R. M. Advances in non-thermal technologies: A revolutionary approach to controlling microbial deterioration, enzymatic activity, and maintaining other quality parameters of fresh stone fruits and their processed products. **Food Chemistry**, v. 464, 141825, 2025.

CRISTIANINI, M.; CRUZ, A. G. D.; PRUDÊNCIO, E. S.; ESMERINO, E. A.; REODRIGUES, S.; PIMENTEL, T. C. **Tecnologias emergentes no processamento de alimentos**. 1ed. São Paulo: Blucher, 2023.

DE ANCOS, B., RODRIGO, M. J., SÁNCHEZ-MORENO, C., CANO, M. P., ZACARÍAS, L. Effect of high-pressure processing applied as pretreatment on carotenoids, flavonoids and vitamin C in juice of the sweet oranges' Navel'and the red-fleshed'Cara Cara'. **Food Research International**, v. 132, p. 109105, 2020.

DONG, X. Y; YANG, Y. L. A novel approach to enhance blueberry quality during storage using cold plasma at atmospheric air pressure. **Food and Bioprocess Technology**, v. 12, n. 8, p. 1409-1421, 2019.

FAISAL, M., ARSHAD, N., WANG, H., LI, C., MA, J., KONG, X., YU, L. Recent advances in technologies for preserving fresh-cut fruits and vegetables. **Foods**, v. 14, n. 16, p. 2769, 2025.

FAN, X; VINYARD, B. T.; SONG, Y. Cold plasma-activated hydrogen peroxide aerosols inactivate *Salmonella Typhimurium* and *Listeria* innocua on smooth surfaces and stem scars of tomatoes: Modeling effects of hydrogen peroxide concentration, treatment time and dwell time. **Food Control**, v. 141, p. 109153, 2022.

FERNANDEZ, K. V. Critically reviewing literature: A tutorial for new researchers. **Australasian Marketing Journal**, v. 27, n. 3, p. 187-196, 2019.

FERNÁNDEZ-JALAO, I; SÁNCHEZ-MORENO, C; DE ANCOS, B. Effect of high-pressure processing on flavonoids, hydroxycinnamic acids, dihydrochalcones and antioxidant activity of apple 'Golden Delicious' from different geographical origin. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 51, p. 20-31, 2019.

GHOSHAL, G. Comprehensive review on pulsed electric field in food preservation: Gaps in current studies for potential future research. **Heliyon**, v. 9, n. 6, 2023.

GOMES, B. A. F., ALEXANDRE, A. C. S., DE ANDRADE, G. A. V., ZANZINI, A. P., DE BARROS, H. E. A., COSTA, P. A., BOAS, E. V. D. B. V. Recent advances in processing and preservation of minimally processed fruits and vegetables: A review–Part 2: Physical methods and global market outlook. **Food Chemistry Advances**, v. 2, p. 100304, 2023.

GIANCATERINO, M; JAEGER, H. Impact of pulsed electric fields (PEF) treatment on the peeling ability of tomatoes and kiwi fruits. **Frontiers in Food Science and Technology**, v. 3, p. 1152111, 2023.

HUANG, H. W.; LUNG, H. M.; YANG, B. B.; WANG, C. Y. Responses of microorganisms to high hydrostatic pressure processing. **Food Control**, v. 40, p. 250-259, 2014.

JADHAV, H. B.; CHOUDHARY, P. Emerging techniques for the processing of food to ensure higher food safety with enhanced food quality: a review. **Discover Food**, v. 4, 2024.

JIA, S., ZHANG, N., JI, H., ZHANG, X., DONG, C., YU, J., LIANG, L. Effects of atmospheric cold plasma treatment on the storage quality and chlorophyll metabolism of

postharvest tomato. **Foods**, v. 11, n. 24, p. 4088, 2022.

JIN, T. Z.; YU, Y; GURTLER, J. B. Effects of pulsed electric field processing on microbial survival, quality change and nutritional characteristics of blueberries. **Lwt**, v. 77, p. 517-524, 2017.

KUNDUKULANGARA PULISSERY, S; KALLAHALLI BOREGOWDA, S., SUSEELA, S; JAGANATH, B. A comparative study on the textural and nutritional profile of high pressure and minimally processed pineapple. **Journal of Food Science and Technology**, v. 58, n. 10, p. 3734-3742, 2021.

LAROQUE, D. A.; SEÓ, S. T.; VALENCIA, G. A.; LAURINDO, J. B.; CARCIOFI, B. A. M. Cold plasma in food processing: Design, mechanisms, and application. **Journal of Food Engineering**, v. 312, 110748, 2022.

LEE, H.; SHAHBAZ, H. M.; HA, N.; KIM, J. U.; LEE, S. J.; PARK, J. Development of ginseng powder using high hydrostatic pressure treatment combined with UV-TiO2 photocatalysis. **Journal of Ginseng Research**, v. 44, n. 1, p. 154-160, 2020.

LEONG, S. Y; OEY, I. Effect of pulsed electric field treatment on enzyme kinetics and thermostability of endogenous ascorbic acid oxidase in carrots (Daucus carota cv. Nantes). **Food Chemistry**, v. 146, p. 538-547, 2014.

LI, M., LI, X., HAN, C., JI, N., JIN, P., ZHENG, Y. Physiological and metabolomic analysis of cold plasma treated fresh-cut strawberries. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 67, n. 14, p. 4043-4053, 2019.

LIU, Y., OEY, I., LEONG, S. Y., KAM, R., KANTONO, K., HAMID, N. Pulsed Electric Field Pretreatments Affect the Metabolite Profile and Antioxidant Activities of Freeze− and Air− Dried New Zealand Apricots. **Foods**, v. 13, n. 11, p. 1764, 2024.

LOPES, A. C., QUEIRÓS, R. P., INÁCIO, R. S., PINTO, C. A., CASAL, S., DELGADILLO, I., SARAIVA, J. A. High-pressure processing effects on microbiological stability, physicochemical properties, and volatile profile of a fruit salad. **Foods**, v. 13, n. 9, p. 1304, 2024.

MACHALA, Z.; PAVLOVICH, M. J. A new phase in applied biology. **Trends in Biotechnology**, v. 36, n. 6, p. 577-578, 2018.

MAO, L., MHASKE, P., ZING, X., KASAPIS, S., MAJZOOBI, M., FARAHNAKY, A. Cold. plasma: Microbial inactivation and effects on quality attributes of fresh and minimally processed fruits and Ready-To-Eat vegetables. **Trends in Food Science & Technology**, v. 116, p. 146-175, 2021.

MARCINIAK, A.; SUWAL, S.; NADERI, N.; POULIOT, Y.; DOYEN, A. Enhancing enzymatic hydrolysis of food proteins and production of bioactive peptides using high hydrostatic pressure technology. **Trends in Food Science & Technology**, v. 80, p. 187-198, 2018.

MISRA, N. N., KOUBAA, M., ROOHINEJAD, S., JULIANO, P., ALPAS, H., INÁCIO, R. S., BARBA, F. J. Landmarks in the historical development of twenty first century food processing technologies. **Food Research International**, v. 97, p. 318-339, 2017.

MISRA, N. N.; TIWARI, B. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S.; CULLEN, P. J. Nonthermal plasma inactivation of food-borne pathogens. **Food Engineering Reviews**, v. 3, p. 159-170, 2011.

MOK, I. K.; NGUYEN, T. T. H.; KIM, D. H.; LEE, J. W.; LIM, S.; JUNG, H. Y. Enhancement of neuroprotection, antioxidant capacity, and water-solubility of crocins by transglucosylation using dextransucrase under high hydrostatic pressure. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 140, p. 109630, 2020.

MOON, A. Y., NOH, S., MOON, S. Y., YOU, S. Feasibility study of atmospheric-pressure plasma treated air gas package for grape's shelf-life improvement. **Current Applied Physics**, v. 16, n. 4, p. 440-445, 2016.

MORALES-DE LA PEÑA, M.; RÁBAGO-PANDURO, L. M.; SOLIVA-FORTUNY, R.; MARTÍN-BELLOSO, O.; WELTI-CHANES, J. Pulsed electric fields technology for healthy food products, **Food Engineering Reviews**, v. 13, n. 3, p. 509-523, 2021.

MUHAMMAD, A. I., LIAO, X., CULLEN, P. J., LIU, D., XIANG, Q., WANG, J., DING, T. Effects of nonthermal plasma technology on functional food components. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 17, n. 5, p. 1379-1394, 2018.

NIU, H., YUAN, L., ZHOU, H., YUN, Y., LI, J., TIAN, J., ZHOU, L. Comparison of the effects of high-pressure processing, pasteurization and high temperature short time on the physicochemical attributes, nutritional quality, aroma profile and sensory characteristics of passion fruit purée. **Foods**, v. 11, n. 5, p. 632, 2022.

ÖZKAN-KARABACAK, A; İNCEDAYI, B; ÇOPUR, Ö. U. Preservation of beverage nutrients by high hydrostatic pressure. In: Preservatives and Preservation Approaches in Beverages. **Academic Press,** 2019. p. 309-337.

PAN, X., WU, J., ZHANG, W., LIU, J., YANG, X., LIAO, X., LAO, F. Effects of sugar matrices on the release of key aroma compounds in fresh and high hydrostatic pressure processed Tainong mango juices. **Food chemistry**, v. 338, p. 128117, 2021.

PANKAJ, S. K.; WAN, Z; KEENER, K. M. Effects of cold plasma on food quality: A review. **Foods**, v. 7, n. 1, p. 4, 2018.

PASQUALI, F.; STRATAKOS, A. C.; KOIDIS, A.; BERARDINELLI, A.; CEVOLI, C.; RAGNI,
L.; MANCUSI, R.; MANFREDA, G.; TREVISANI, M. Atmospheric cold plasma process for vegetable leaf decontamination: A feasibility study on radicchio (red chicory, Cichorium intybus L.). **Food Control**, v. 60, p. 552-559, 2016.

PATHARE, P. B., CALEB, O. J., PRASATH, V. A., GARUD, S. R. Application of cold plasma for fresh produce quality and shelf-life extension. In: Postharvest management of fresh produce. **Academic Press**, 2023. p. 165-194.

PEREIRA, R. N.; VICENTE, A. A. Environmental impact of novel thermal and non-thermal technologies in food processing. **Food Research International**, v. 43, n. 7, p. 1936-1943, 2010.

PERNI, S; SHAMA, G; KONG, M. G. Cold atmospheric plasma disinfection of cut fruit surfaces contaminated with migrating microorganisms. **Journal of food protection**, v. 71, n. 8, p. 1619-1625, 2008.

RAVICHANDRAN, C., JAYACHANDRAN, L. E., KOTHAKOTA, A., PANDISELVAM, R., BALASUBRAMANIAM, V. M. Influence of high-pressure pasteurization on nutritional, functional and rheological characteristics of fruit and vegetable juices and purees-an updated review. **Food Control**, v. 146, p. 109516, 2023.

ROSENZWEIG, Z., MARTIN, A., HACKETT, C., GARCIA, J., THOMPSON, G. L. Threshold microsecond pulsed electric field exposures for change in spinach quality. **ACS omega**, v. 8, n. 22, p. 19833-19842, 2023.

SILVEIRA ALEXANDRE, A. C., FERREIRA GOMES, B. A., DUARTE, G. N., PIVA, S. F., BARROS ZAUZA, S., DE BARROS VILAS BOAS, E. V. Recent advances in processing and preservation of minimally processed fruits and vegetables: A review–Part 1: Fundamentals and chemical methods. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 46, n. 8, p. e16757, 2022.

SINGH, S. P; THAKUR, R. Postharvest applications of cold plasma treatment for improving food safety and sustainability outcomes for fresh horticultural produce. Postharvest **Biology and Technology**, v. 209, p. 112694, 2024.

SONG, Y; FAN, X. Cold plasma enhances the efficacy of aerosolized hydrogen peroxide in reducing populations of *Salmonella Typhimurium* and *Listeria* innocua on grape tomatoes, apples, cantaloupe and romaine lettuce. **Food Microbiology**, v. 87, p. 103391, 2020.

TAN, J; KARWE, M. V. Inactivation of Enterobacter aerogenes on the surfaces of fresh-cut purple lettuce, kale, and baby spinach leaves using plasma activated mist (PAM). **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 74, p. 102868, 2021.

TAPPI, S., RAGNI, L., TYLEWICZ, U., ROMANI, S., RAMAZZINA, ROCCULI, P. Browning response of fresh-cut apples of different cultivars to cold gas plasma treatment. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 53, p. 56-62, 2019.

TEREFE, N. S; BUCKOW, R; VERSTEEG, C. Quality-related enzymes in fruit and vegetable products: effects of novel food processing technologies, part 1: high-pressure processing. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 54, n. 1, p. 24-63, 2014.

THIRUMDAS, R.; SARAGAPANI, C.; AJINKYA, M. T.; DESHMUKH, R. R.; ANNAPURE, U. S. Influence of low-pressure cold plasma on cooking and textural properties of brown rice. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 37, p. 53-60, 2016.

WAGHMARE, R. High pressure processing of fruit beverages: A recent trend. **Food**

and Humanity, v. 2, p. 100232, 2024.

WANG, L., LI, Z., LIU, D., FAN, J. Effect of heat and pulsed electric field treatment on the physicochemical and nutritional properties of carrots. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 103, n. 3, p. 1514-1521, 2023.

WANG, L.; BOUSSETTA, N.; LEBOVKA, N.; VOROBIEV, E. Cell disintegration of apple peels induced by pulsed electric field and efficiency of bio-compound extraction. **Food and Bioproducts Processing**, v. 122, p. 13-21, 2020.

WANG, R. X., NIAN, W. F., WU, H. Y., FENG, H. Q., ZHANG, K., ZHANG, J., FANG, J.Atmospheric-pressure cold plasma treatment of contaminated fresh fruit and vegetable slices: Inactivation and physiochemical properties evaluation. **The European Physical Journal D**, v. 66, p. 1-7, 2012.

XIA, Q., LIU, C., CAO, Y., ZHAO, Y., LU, S., WU, D., GUAN, R. Improving quality of sea buckthorn juice by high-pressure processing. **Lwt**, v. 185, p. 115149, 2023.

ZHANG, C.; ZHAO, W.; YAN, W.; WANG, M.; TONG, Y.; ZHANG, M.; YANG, R. Effect of pulsed electric field pretreatment on oil content of potato chips. **LWT-Food Science and Technology**, v. 135, p. 110198, 2021.

ZOU, W., NIU, H., YI, J., ZHOU, L. Passion fruit juicing with or without seeds treated by high-pressure processing and thermal pasteurization: Effects on the storage stability of enzymes and quality properties. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 91, p. 103554, 2024.

Submetido em: 18.05.2026
Aceito em: 15.10.2026
Publicado em: 13.11.2026
Avaliado pelo sistema *double blind review*