

IMPACTO DAS TECNOLOGIAS NÃO TÉRMICAS NA CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS: SEGURANÇA MICROBIOLÓGICA, QUALIDADE E SUSTENTABILIDADE - UMA REVISÃO

 <https://doi.org/10.56238/arev6n4-405>

Data de submissão: 24/11/2024

Data de publicação: 24/12/2024

Maria Geovana de Jesus Lopes

Mestranda em Produção Vegetal

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF

E-mail: dejesusmaria854@gmail.com

ORCID: 0009-0006-2340-806X

LATTES: <http://lattes.cnpq.br/1724633413778756>

Mariana Elene Costa Pereira Benevides

Mestranda em Produção Vegetal

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF

E-mail: mariana.elenee@gmail.com

ORCID: 0009-0003-0259-9061

LATTES: <http://lattes.cnpq.br/9252411177666915>

Lucélia Alves Paixão

Mestranda em Produção Vegetal

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF

E-mail: luceliaaaa@gmail.com

ORCID: 0009-0005-0061-404X

LATTES: <http://lattes.cnpq.br/1724633413778756>

Pedro Carvalho Araújo

Mestrando em Produção Vegetal

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF

E-mail: praimia@gmail.com

ORCID: 0009-0002-8918-8806

LATTES: <http://lattes.cnpq.br/5788350979218316>

Daniel Barbosa dos Santos

Mestrando em Produção Vegetal

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF

E-mail: danielbdossantos.1999@gmail.com

ORCID: 0009-0003-6325-231X

LATTES: <http://lattes.cnpq.br/5788350979218316>

Ariel Vitoria Gonçalves

Mestranda em Produção Vegetal

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF

E-mail: arvitoria.zoo@gmail.com

ORCID: 0009-0009-6713-8163

LATTES: <http://lattes.cnpq.br/6930589123595562>

Juliana Gonçalves Vidigal
Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos
Instituto Federal Fluminense - *campus* Bom Jesus do Itabapoana
E-mail: jvdigal@iff.edu.br
ORCID: 0009-0000-7971-5364
LATTES: <http://lattes.cnpq.br/0845455390489129>

Lucas Martins da Silva
Doutor em Produção Vegetal
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF
E-mail: lucasmartinsdasilvalms@gmail.com
ORCID: 0000-0003-0862-7863
LATTES: <http://lattes.cnpq.br/3422339601424137>

RESUMO

A crescente demanda por alimentos seguros, nutritivos, de alta qualidade sensorial e cuja produção não causem impacto ambiental significativo, tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias inovadoras voltadas para a conservação de alimentos, fundamentais para atender às exigências do mercado e reduzir o desperdício alimentar. Este artigo apresenta uma revisão abrangente sobre o impacto das tecnologias não térmicas na conservação de alimentos, abordando aspectos como segurança microbiológica, qualidade e sustentabilidade. Métodos inovadores, como o processamento por alta pressão (HPP), ultrassom, campos elétricos pulsados (PEF), luz ultravioleta (UV) e ozonização, são apresentados como alternativas vantajosas aos métodos térmicos convencionais, possuindo eficácia na redução de microrganismos e na preservação de atributos sensoriais e nutricionais dos alimentos. Apesar de desafios, como altos custos iniciais e complexidades operacionais, essas tecnologias se mostram mais promissoras, destacando-se pela eficiência energética e menor impacto ambiental. O estudo identifica tendências científicas e lacunas no conhecimento por meio de uma abordagem bibliométrica e de revisão sistemática, destacando a predominância do HPP e ultrassom como os métodos mais investigados. Ademais, aborda a viabilidade de aplicação em larga escala, apontando as tecnologias combinadas como soluções para superar limitações industriais. Assim, evidencia-se que a modernização da indústria alimentícia depende de investimentos em pesquisa e desenvolvimento dessas tecnologias, que se apresentam como potenciais soluções para atender às necessidades de alimentos que aliam segurança, qualidade superior e sustentabilidade.

Palavras-chave: Processamento Não Térmico. Conservação de Alimentos. Sustentabilidade. Segurança Alimentar. Qualidade Sensorial.

1 INTRODUÇÃO

A conservação de alimentos tem sido motivo de grande preocupação desde os primórdios da civilização, com métodos tradicionais como secagem, salga e fermentação desempenhando papéis fundamentais na preservação de alimentos perecíveis. Com o avanço da ciência e tecnologia, surgiram processos térmicos, como a pasteurização e a esterilização, que revolucionaram a indústria alimentícia, em função de sua comprovada eficácia na eliminação de microrganismos patogênicos e na inativação enzimática, garantindo a segurança e prolongando a vida útil dos alimentos. Entretanto, conforme ressaltado por Moreno-Vilet et al. (2018) e Silva et al. (2021), estes métodos frequentemente expõem os alimentos a altas temperaturas por períodos prolongados, o que resulta na perda de compostos nutricionais sensíveis ao calor, bioativos e funcionais, além de prejudicar atributos sensoriais, como sabor, textura e cor.

Diante deste cenário, de acordo com Cristianini et al. (2023), devido à crescente busca dos consumidores por alimentos que sejam não somente seguros microbiologicamente, mas também funcionais, as tecnologias emergentes de processamento não térmicas têm atraído significativa atenção como fontes alternativas, inovadoras e viáveis. Métodos como alta pressão hidrostática, campos elétricos pulsados e radiação ionizante destacam-se dentre as tecnologias não térmicas (Jermann et al., 2015), conferindo, por meio da minimização dos impactos negativos associados ao aquecimento convencional, uma melhor preservação dos nutrientes e das características originais dos alimentos.

Embora as tecnologias não térmicas possam apresentar uma série de vantagens para a indústria alimentícia, como as citadas anteriormente, suas aplicações em larga escala ainda enfrentam diversos desafios. Entre eles, conforme Picart-Palmade et al. (2019), destacam-se a limitação de dados consolidados sobre sua eficácia em diferentes matrizes alimentares, os altos custos de implementação e a complexidade operacional em cenários industriais. Essas lacunas evidenciam a necessidade de pesquisas aprofundadas, que sejam capazes de explorar de forma sistemática a segurança microbiológica, a qualidade e a sustentabilidade desses métodos, promovendo assim, soluções viáveis para superar as barreiras existentes no setor alimentício.

Deste modo, tem-se que estudos exploratórios, descritivos e quantitativos se caracterizam como ferramentas essenciais para investigar fenômenos pouco conhecidos, detalhar aspectos e analisar dados numéricos de maneira objetiva. Os estudos exploratórios ajudam a identificar lacunas e tendências em temas amplos, os descritivos detalham padrões e características observáveis, e os quantitativos utilizam métricas para análises objetivas. A integração dessas abordagens é recorrente em estudos bibliométricos, permitindo mapear tendências científicas, detectar insuficiências teóricas e propor novas orientações para pesquisas futuras (Macedo et al., 2022).

Este trabalho se caracteriza, portanto, como uma pesquisa quali-quantitativa, de caráter exploratório e na modalidade bibliográfica, com viés bibliométrico. Por ser bibliográfica, baseia-se na análise de produções científicas previamente publicadas, permitindo uma revisão sistemática de dados relevantes e confiáveis. O viés bibliométrico, por sua vez, fornece uma perspectiva quantitativa sobre a produção científica, facilitando a identificação de padrões de publicação, redes de colaboração e impacto acadêmico das pesquisas no campo. Sendo assim, o objetivo central deste trabalho trata-se da análise das produções científicas sobre o impacto das tecnologias não térmicas na conservação de alimentos, abordando aspectos fundamentais como segurança microbiológica, qualidade e sustentabilidade ambiental. Ao explorar esses temas, o estudo busca não apenas compreender o estado atual da pesquisa, mas também sugerir novas direções para futuros avanços no setor alimentício.

2 METODOLOGIA

O presente estudo utilizou uma abordagem bibliométrica e de revisão sistemática para compreender o impacto das tecnologias não térmicas na conservação de alimentos. A metodologia foi estruturada para identificar, analisar e sintetizar publicações relevantes, destacando as principais tecnologias, seus efeitos sobre a qualidade e segurança dos alimentos, e sua viabilidade em termos de sustentabilidade. As etapas descritas a seguir detalham o processo de seleção, análise e organização dos dados coletados.

2.1 ESTRATÉGIA DE BUSCA

A seleção dos artigos científicos foi realizada no dia 12 de dezembro de 2024, utilizando a base de dados Scopus, com foco em publicações no período de 10 anos (2013-2023) e no idioma inglês. As palavras-chave utilizadas foram: “non-thermal technologies”, “food preservation”, “ultrasound”, “high pressure”, “ozone”, “cold plasma”, “ionizing radiation” e “ultraviolet light”, conectadas pelo operador booleano “AND” para refinar os resultados.

A query gerada para a busca foi: (TITLE-ABS-KEY (non-thermal AND technologies) AND TITLE-ABS-KEY (food AND preservation) AND TITLE-ABS-KEY (non-thermal AND processing) AND TITLE-ABS-KEY (ultrasound) OR TITLE-ABS-KEY (high AND pressure) OR TITLE-ABS-KEY (ozone) OR TITLE-ABS-KEY (cold AND plasma) OR TITLE-ABS-KEY (ionizing AND radiation) OR TITLE-ABS-KEY (ultraviolet AND light)) AND PUBYEAR > 2013 AND PUBYEAR < 2023 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English")).

A busca resultou em 67 artigos científicos, incluindo publicações originais e de revisão.

2.2 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO

2.2.1 critérios de inclusão

- Publicações entre 2013 e 2023.
- Idioma: inglês.
- Tipo de documento: artigos científicos e artigos de revisão.
- Foco temático em tecnologias não térmicas para conservação de alimentos.

2.2.2 critérios de exclusão

- Documentos duplicados.
- Artigos fora do escopo da pesquisa ou indisponíveis na íntegra.

2.3 EXTRAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

A extração de dados focou nos seguintes aspectos:

- Autores e ano de publicação.
- Matéria-prima analisada.
- Tecnologia não térmica utilizada.
- Resultados microbiológicos.
- Aspectos de qualidade e resultados gerais.

A análise dos dados foi realizada em duas etapas principais:

2.3.1 ferramentas utilizadas

- O software VOSviewer9 foi empregado para análise bibliométrica e construção de redes de colaboração.
- O Microsoft Excel foi utilizado para organização dos dados e criação de gráficos e tabelas.

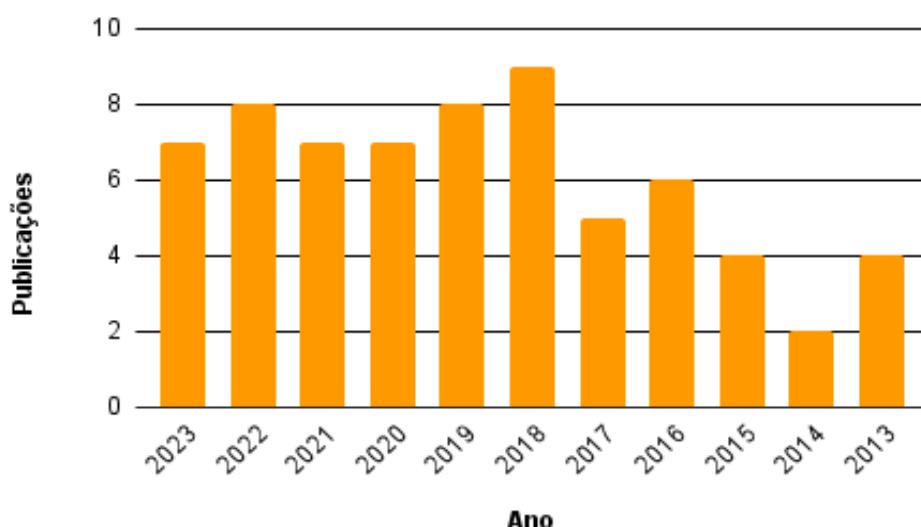
2.3.2 etapas de leitura (segundo severino, 2017)

- Leitura Exploratória: Avaliação inicial de títulos, resumos e palavras-chave para identificar relevância temática.
- Leitura Seletiva: Análise de seções específicas (introdução, metodologia e resultados) para extração de dados relevantes.
- Leitura Analítica: Compreensão aprofundada das tendências e lacunas apresentadas nos estudos.

3 RESULTADOS

A busca realizada na base de dados Scopus resultou em um total de 67 publicações científicas. O ano com o maior número de publicações foi 2018, com 9 registros, seguido pelos anos de 2019 e 2022, com 8 publicações cada. Os anos de 2020 e 2021 apresentaram 7 publicações cada, como ilustrado na Figura 1.

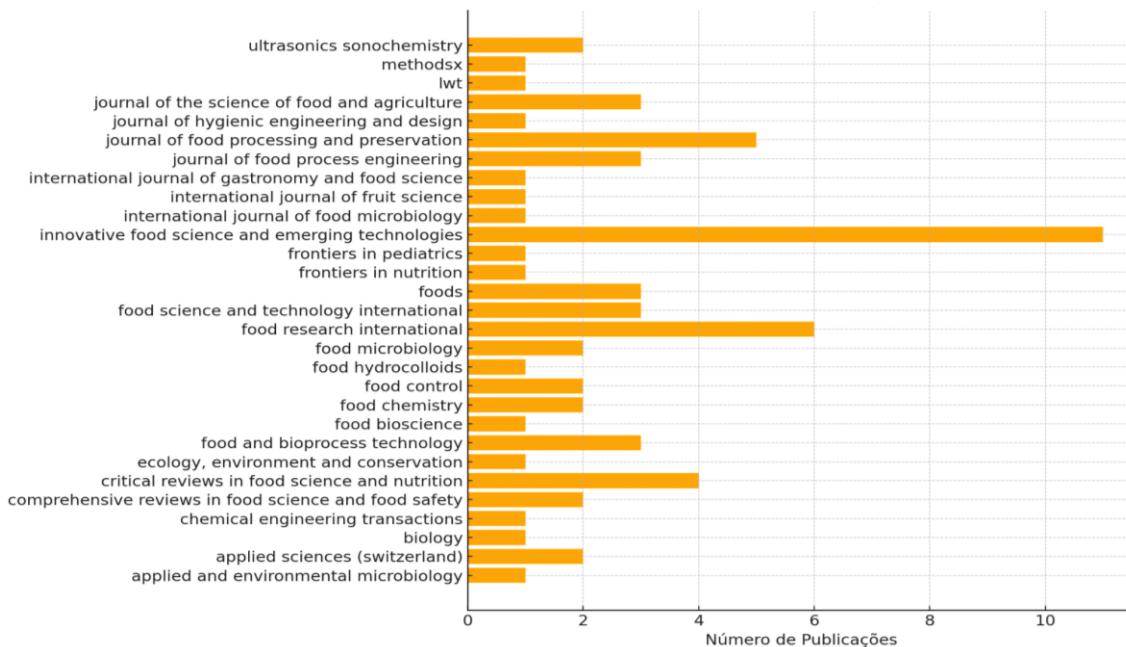
Figura 1 - Produção científica entre 2013 e 2023.



Fonte: Autoria própria (2024).

As 67 produções científicas analisadas foram publicadas em 15 periódicos distintos. Destacam-se os periódicos Innovative Food Science and Emerging Technologies (Qualis A1) e Food Microbiology (Qualis A1), que concentraram, respectivamente, 11 e 6 publicações, totalizando aproximadamente 25% do conjunto. Outros periódicos de relevância incluem o Journal of Food Process Engineering (Qualis A4) e o Food Science and Technology International (Qualis A3), cada um com 4 publicações. Esses dados evidenciam que a maioria das produções foi veiculada em periódicos reconhecidos e de alta relevância na área, conforme ilustrado na Figura 2. A publicação em periódicos com classificação Qualis A reforça a credibilidade e a qualidade das pesquisas realizadas, assegurando que os resultados apresentados são respaldados por veículos de excelência científica.

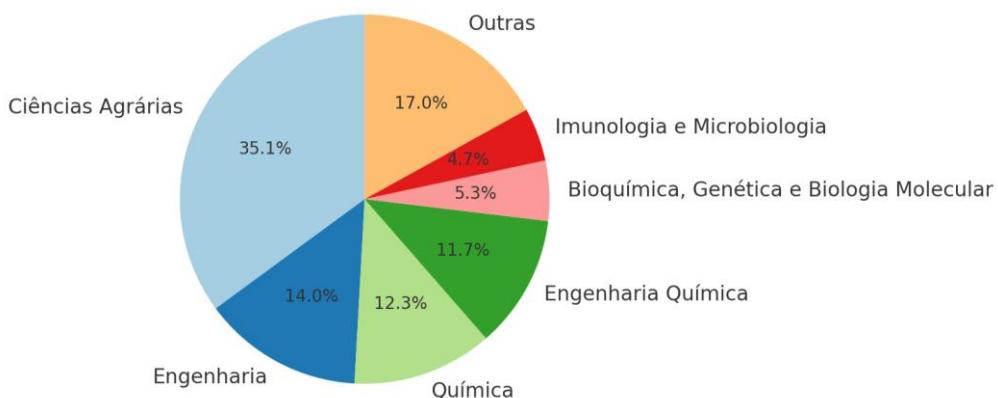
Figura 2 - Distribuição das publicações em estudo por periódicos entre 2013 e 2023.



Fonte: Autoria própria (2024).

Na Figura 3, observa-se a distribuição das produções científicas relacionadas às tecnologias não térmicas por áreas do conhecimento. As Ciências Agrárias lideram, com 35,1% das publicações, seguidas pela Engenharia, que ocupa o segundo lugar com 14%, e pela Química, com 12,3%. A Engenharia Química aparece em seguida, representando 11,7% do total, enquanto a Bioquímica, Genética e Biologia Molecular contribuem com 5,3%. Imunologia e Microbiologia abrangem 4,7% das produções. Áreas com 3% ou menos de participação, como Física e Astronomia, Ciências Sociais, Profissões de Saúde, Enfermagem, Medicina, entre outras, foram agrupadas na categoria "Outras" com 17%. Esses dados destacam a predominância de áreas aplicadas, como Ciências Agrárias e Engenharia, nas pesquisas sobre tecnologias não térmicas, enquanto áreas menores apresentam contribuições mais pontuais.

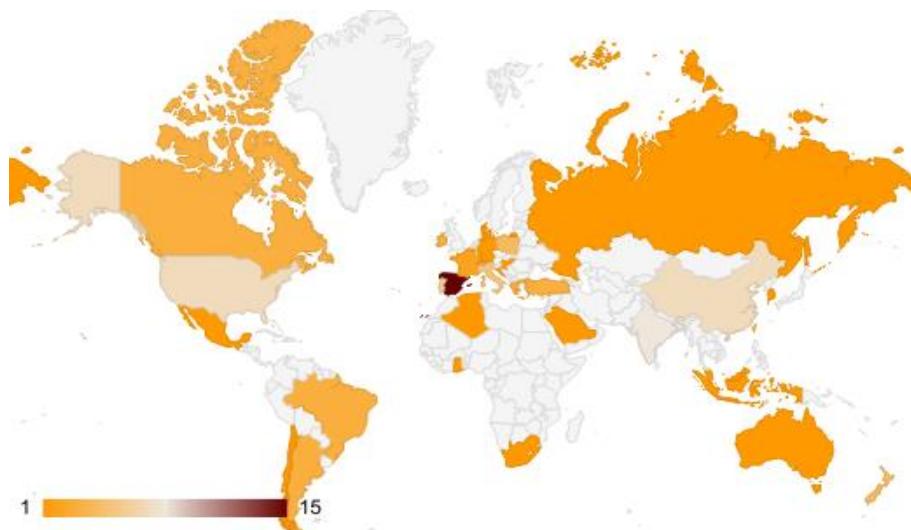
Figura 3 - Áreas de estudo *versus* percentual de produção científica entre 2013 e 2023.



Fonte: Autoria própria (2024).

Os países que obtiveram destaque em número de publicações sobre tecnologias não térmicas foram a Espanha, que liderou com 15 publicações, seguida pela Índia, com 8 registros. China e Estados Unidos compartilharam a terceira posição, ambos com 7 publicações cada. Itália e Portugal contribuíram com 5 publicações cada, enquanto a Polônia registrou 4. Brasil, Canadá, Irlanda, Grécia e Taiwan apresentaram 3 publicações cada no período analisado. Por fim, Argélia, Alemanha e Malásia registraram apenas 1 publicação cada, demonstrando menor contribuição ao tema. O mapa apresentado na Figura 4 utiliza um sistema de cores para ilustrar a distribuição geográfica das publicações, no qual as tonalidades mais escuras indicam os países com maior número de registros, enquanto as cores mais claras representam aqueles com menor produção.

Figura 4 - Produção científica dos países entre 2013 e 2023.



Fonte: Autoria própria (2024).

Além disso, destaca-se que o continente europeu é o maior contribuidor em termos de produção científica com 47 estudos, enquanto a África possui uma participação limitada, com apenas 3 publicações, oriundas da Nigéria (2) e da África do Sul (1). Esses dados reforçam a predominância de países desenvolvidos e emergentes na pesquisa sobre tecnologias não térmicas, enquanto regiões menos desenvolvidas apresentam uma participação mais restrita.

4 DISCUSSÃO

Dos 67 artigos analisados, 16 estavam dentro do escopo desta pesquisa, avaliando os efeitos das tecnologias não térmicas na conservação de alimentos e sua influência na qualidade. O Quadro 1 elaborado apresenta as produções científicas selecionadas, detalhando as características de cada estudo, incluindo a matéria-prima utilizada, a tecnologia aplicada, os resultados microbiológicos, os aspectos de qualidade e os resultados gerais encontrados.

Quadro 1: Resumo dos resultados obtidos nos estudos sobre tecnologias não térmicas aplicadas à conservação de alimentos e influência na qualidade.

| Autor/Ano | Matéria-Prima | Tecnologia Não Térmica Utilizada | Resultados Microbiológicos | Aspectos de Qualidade | Resultados Gerais |
|----------------------------|---------------------------|----------------------------------|--|--|---|
| Amaro-Blanco et al. (2018) | Paletas curadas de porcos | HPP e embalagem ativa | HPP reduziu patógenos e flora mesofílica. | Qualidade sensorial preservada com HPP. | O HPP foi eficaz na redução microbiana, mantendo qualidade sensorial. |
| Sirohi et al. (2021) | Grãos alimentícios | Plasma frio, ozônio e radiação | Plasma frio reduziu microrganismos superficiais. | Retenção da qualidade sensorial e ausência de odores residuais. | O Plasma frio foi eficaz na descontaminação de grãos, preservando qualidade. |
| Fundo et al. (2018) | Suco de melão Cantaloupe | Ozonização | Reduziu 2,22 log de esporos de <i>A. acidoterrestris</i> . | Impactos negativos na preservação da vitamina C (- 76%) e de carotenoides (- 83%). | A Ozonização demonstrou eficácia microbiológica, mas com perdas significativas de nutrientes. |
| Yildiz et al. (2021) | Suco de morango | HPP, US e PEF | HPP e US mantiveram contagens <2 log CFU/mL por 42 dias. | Compostos bioativos preservados. | O HPP e US prolongaram a vida útil, mantendo qualidade microbiológica e sensorial. |

| | | | | | |
|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--|--|--|
| Van Wyk et al. (2018) | Vinho tinto | HPP e PEF | HPP eliminou <i>Brettanomyces</i> (>5 log). | Preservação da cor e compostos fenólicos com HPP. | O HPP mostrou-se mais eficaz na preservação microbiológica e sensorial. |
| Cassani et al. (2020) | Suco de morango enriquecido | Ultrassom | Redução de até 3,64 log para bolores e leveduras. | Aumento de compostos bioativos e preservação da cor. | O ultrassom melhorou bioativos e manteve qualidade microbiológica e sensorial. |
| Zhu et al. (2023) | Filés de salmão | PASW, PAW, SAEW | PASW reduziu 2,08 log de bactérias. | Preservação de textura e cor com PASW. | A PASW foi mais eficaz para inativação bacteriana e preservação sensorial. |
| Tomadoni et al. (2020) | Suco de morango | Ultrassom e compostos naturais | Reduciu 3,64 log de patógenos e bolores com ultrassom. | Preservação sensorial e aumento de antioxidantes (+16%). | O ultrassom foi eficaz no controle microbiano e na melhoria da preservação de compostos antioxidantes. |
| Evrendilek et al. (2019) | Suco de cereja | PEF, ozônio e ultrassom | Reduciu >4,38 log de <i>P. expansum</i> com PEF e ultrassom. | Retenção de compostos fenólicos e estabilidade de cor. | A combinação de PEF e ultrassom foi a mais eficaz em inativação microbiana e preservação de qualidade. |
| Mizi et al. (2019) | Hambúrguer de carne bovina | HPP e sálvia | HPP reduziu significativamente microrganismos por 60 dias. | Preservação sensorial com HPP. | O HPP garantiu qualidade microbiológica e sensorial de longo prazo. |
| Artés-Hernández et al. (2021) | Bebidas de frutas e vegetais | HPP, US, PEF, UV e plasma frio | Redução de 5 log em patógenos com tecnologias combinadas. | Preservação de compostos bioativos e estabilidade sensorial. | As Tecnologias combinadas aumentam a segurança e qualidade sensorial. |
| Ward et al. (2018) | Leite desnatado | UV-C | Reduciu >5 log de <i>E. coli</i> , <i>S. Typhimurium</i> e <i>L. monocytogenes</i> . | Preservação de propriedades químicas e sensoriais. | O UV-C foi eficiente na inativação microbiana e manutenção de qualidade sensorial. |

| | | | | | |
|---------------------------|----------------------|---------------------------|---|---|---|
| Bernardo et al. (2022) | Leite de cabra | Termossônica | Inativação de até 6,6 log de <i>E. coli</i> O157:H7. | Preservação de compostos bioativos e baixa oxidação lipídica. | A Termossônica demonstrou eficácia na inativação microbiana e preservação de qualidade química. |
| Pérez-Won et al. (2021) | Filés de salmão Coho | PEF, CO ₂ e HP | Contagens bacterianas aceitáveis por 25 dias com PEF. | Preservação de textura, cor e atividade enzimática reduzida. | O PEF prolongou a vida útil microbiológica e manteve atributos sensoriais. |
| Cao et al. (2018) | Suco de bayberry | Ultrassom (US e USC) | Inativação de PPO e POD sem crescimento microbiano. | Aumento de compostos fenólicos (+9,57%) e preservação da cor. | O ultrassom foi eficaz na inativação enzimática e manutenção da qualidade sensorial. |

Fonte: autoria própria.

Legenda: HPP: Processamento por Alta Pressão (*High Pressure Processing*). US: Ultrassom (*Ultrasound*). PEF: Pulses Elétricos (*Pulsed Electric Fields*). PL: Luz Pulsada (*Pulsed Light*). UV-C: Luz Ultravioleta na faixa C (*Ultraviolet C*). PASW: Água Eletrolisada Ativada por Plasma (*Plasma-Activated Slightly Acidic Water*). PAW: Água Ativada por Plasma (*Plasma-Activated Water*). SAEW: Água Eletrolisada Levemente Ácida (*Slightly Acidic Electrolyzed Water*). PPO: Polifenoloxidase. POD: Peroxidase. CFU: Unidade Formadora de Colônia (*Colony Forming Unit*). *E. coli*: *Escherichia coli*. *A. acidoterrestris*: *Alicyclobacillus acidoterrestris*.

Nesta análise, foi obtido que 26,7% dos estudos avaliados utilizaram o processamento por alta pressão (HPP), consolidando-o como uma das tecnologias mais investigadas. Exemplos incluem sua aplicação em paletas curadas de porcos para redução de patógenos e preservação sensorial (Amaro-Blanco et al., 2018), em suco de morango para prolongamento da vida útil e preservação de compostos bioativos (Yildiz et al., 2021) e em vinho tinto para eliminação de *Brettanomyces* e preservação da cor (Van Wyk et al., 2018).

O ultrassom (US), também presente em 26,7% dos trabalhos, mostrou eficácia em aplicações como a redução de microrganismos em suco de morango enriquecido, com preservação da cor (Cassani et al., 2020), o aumento de antioxidantes em suco de morango (Tomadoni et al., 2020) e a retenção de compostos fenólicos em suco de cereja azeda (Evrendilek et al., 2019).

Os pulsos elétricos (PEF) aparecem em 20% dos estudos, com destaque para sua aplicação em suco de morango, contribuindo para a manutenção microbiológica e sensorial (Yildiz et al., 2021), e em filés de salmão Coho, onde prolongaram a vida útil microbiológica e preservaram atributos sensoriais (Pérez-Won et al., 2021).

A ozonização e o plasma frio, identificados em 13,3% dos estudos cada, foram aplicados com sucesso em suco de melão Cantaloupe para redução de esporos microbianos (Fundó et al., 2018) e em grãos nutritivos para descontaminação, sem alterar a qualidade sensorial (Sirohi et al., 2021).

Tecnologias emergentes, como a luz pulsada (PL), a luz ultravioleta (UV-C), a termossônica e a água ativada por plasma (PASW, PAW, SAEW), foram exploradas em 6,7% dos estudos cada, evidenciando seu potencial em aplicações específicas. Por exemplo, a luz pulsada foi eficaz na redução de patógenos em alimentos líquidos claros (Mandal et al., 2020), e a luz ultravioleta (UV-C) demonstraram eficiência na inativação microbiana em leite desnatado, preservando as propriedades químicas e sensoriais (Ward e outros, 2018).

A eficácia microbiológica dessas tecnologias foi amplamente demonstrada. Em 73,3% dos estudos, houve reduções microbianas superiores a 3 log, sendo que 46,7% alcançaram reduções acima de 5 log, níveis que garantem a segurança alimentar adequada. O HPP, por exemplo, eliminou mais de 5 log de *Brettanomyces* em vinho tinto (Van Wyk et al., 2018), enquanto o ultrassom combinado com compostos naturais, como geraniol e extrato de romã, atingiu uma redução de até 3,64 log de *E. coli O157 :H7* em suco de morango (Tomadoni et al., 2020). Tecnologias como UV-C também demonstraram excelente desempenho, inativando patógenos como *Listeria monocytogenes* no leite desnatado, sem gerar compostos tóxicos (Ward et al., 2018). No entanto, o PEF apresentou eficácia limitada em matrizes alimentares mais complexas, como o vinho, onde a redução foi de apenas 0,8 log (Van Wyk et al., 2018).

Além de sua eficácia microbiológica, as tecnologias não térmicas preservam e, em alguns casos, melhoram a qualidade nutricional dos alimentos. Em 73,3% dos estudos, foi detectado aumento ou preservação de compostos bioativos. O ultrassom se destacou ao aumentar compostos fenólicos em até 9,57% no suco de bayberry (Cao et al., 2018), enquanto o HPP preservou bioativos em bebidas e alimentos ricos em nutrientes (Yildiz et al., 2021). Por outro lado, a ozonização apresentou impactos negativos em certas matrizes, como no suco de melão, onde houve perdas de até 76% de vitamina C e 83% de carotenoides (Fundó et al., 2018). Esses reforçam a importância de selecionar a tecnologia mais adequada para cada tipo de alimento, considerando suas características específicas.

Outro ponto importante é a previsão e a sustentabilidade das tecnologias em estudo. Tecnologias como luz pulsada e UV-C se mostraram altamente eficientes em termos de consumo energético e impacto ambiental, sendo ideais para descontaminação de superfícies e líquidos claros (Mandal et al., 2020; Ward et al., 2018). No entanto, desafios como custos iniciais elevados e a complexidade operacional ainda limitam a adoção em larga escala. Estratégias como a combinação de tecnologias, exemplificadas pelo uso conjunto de HPP e CO₂ em filés de salmão, têm se mostradas

eficazes para superar essas barreiras, prolongando a vida útil dos alimentos e preservando atributos sensoriais (Pérez-Won et al., 2021).

Em síntese, as tecnologias não térmicas oferecem uma abordagem moderna e eficaz para a conservação de alimentos, equilibrando segurança, qualidade e sustentabilidade. O HPP e o ultrassom se destacam como as tecnologias mais robustas, com maior suporte na literatura (Amaro-Blanco et al., 2018; Yildiz et al., 2021). Apesar dos desafios como custo e complexidade operacional, os avanços na pesquisa apontam para uma evolução crescente dessas tecnologias em escala industrial. Investimentos em desenvolvimento e estudos sobre transferências de métodos podem ampliar ainda mais suas aplicações, consolidando-as como alternativas viáveis e promissoras aos métodos térmicos.

5 CONCLUSÃO

As tecnologias não térmicas vêm se consolidando como alternativas eficazes para a conservação de alimentos, destacando-se pela inativação microbiana eficiente e preservação dos atributos sensoriais e nutricionais. Métodos como Processamento por Alta Pressão (HPP), ultrassom e pulsos elétricos (PEF) apresentam resultados positivos na redução de patógenos, muitas vezes superando 5 log, garantindo segurança microbiológica sem comprometer a qualidade do alimento.

Essas tecnologias também demonstraram potencial para preservar compostos bioativos e promover sustentabilidade no setor alimentício, reduzindo impactos ambientais e desperdícios. Entretanto, desafios como custos elevados e limitações operacionais ainda restringem sua adoção em larga escala.

O uso combinado dessas técnicas, como HPP com CO₂ ou ultrassom com compostos bioativos, apresenta-se como uma solução promissora, apontando para futuras aplicações industriais. Conclui-se que o avanço e a integração dessas tecnologias são essenciais para atender às demandas por alimentos seguros, de alta qualidade sensorial e nutricional e produzidos de forma sustentável, impulsionando a modernização da indústria alimentícia.

REFERÊNCIAS

- AMARO-BLANCO, I.; MARTÍNEZ, L.; LÓPEZ-CABALLERO, M. E.; et al. Active packaging using an olive leaf extract and high-pressure processing for the preservation of sliced dry-cured shoulders from Iberian pigs. *Meat Science*, Amsterdam, v. 144, p. 50-58, Jan. 2018.
- ARTÉS-HERNÁNDEZ, F.; CASTILLO, S.; CARBONELL-BARROSO, M.; et al. Phytochemical fortification in fruit and vegetable beverages with green technologies: A review. *Frontiers in Nutrition*, Lausanne, v. 8, p. 124, Feb. 2021.
- BERNARDO, S.; ANTONIO, N.; MATA, M.; et al. Optimizing Escherichia coli O157:H7 inactivation in goat's milk by thermosonication: Effects on quality properties. *Journal of Food Process Engineering*, Hoboken, v. 45, n. 1, p. 13856, Jan. 2022.
- CASSANI, L.; TRINDADE, C. S. F.; FREITAS, R. J. S.; et al. Green ultrasound-assisted processing for extending the shelf-life of prebiotic-rich strawberry juice. *Journal of Food Science and Technology*, Heidelberg, v. 58, n. 2, p. 375-386, Feb. 2020.
- CAO, W.; LIU, J.; ZHANG, W.; et al. The inactivation kinetics of polyphenol oxidase and peroxidase in bayberry juice during thermal and ultrasound treatments. *Food Chemistry*, Amsterdam, v. 277, p. 96-104, Apr. 2018.
- CRISTIANINI, M.; CRUZ, A. G. da.; PRUDÊNCIO, E. S.; ESMERINO, E. A.; RODRIGUES, S.; PIMENTEL, T. C. (2023). *Tecnologias emergentes no processamento de alimentos*. São Paulo: Blucher, p. 388, 2023.
- EVRENDILEK, G. A.; EVRENDILEK, F.; AKDENIZ, B. Interaction and multi-objective effects of multiple non-thermal treatments on cherry juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, Amsterdam, v. 52, p. 89-97, Sept. 2019.
- FUNDO, J. F.; MILLER, F. A.; BRANDÃO, T. R. S.; et al. Ozone processing for preservation of Cantaloupe melon juice: Effect on quality, bioactive compounds and microbial inactivation. *Food Chemistry*, Amsterdam, v. 239, p. 761-768, Jan. 2018.
- MACEDO, V. P.; LEBRES, V. F.; JUNIOR, R. B. Hackathon as an instrument for innovation in collaborative networks: a bibliometric analysis. *Revista Produção e Desenvolvimento*, Rio de Janeiro, v.8: e602, Jan-Dez, 2022.
- MANDAL, R.; AGARWAL, D.; JOSHI, S.; et al. Applications of pulsed light decontamination technology in food processing: An overview. *Food Control*, Amsterdam, v. 123, p. 107773, Aug. 2020.
- MIZI, L.; TSIMOGIANNIS, D.; ORDÓÑEZ, J.; et al. Antimicrobial and antioxidant effects of combined high-pressure processing and sage in beef burgers during prolonged chilled storage. *Meat Science*, Amsterdam, v. 162, p. 108033, Nov. 2019.
- MORENO-VILET, L.; HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, H. M.; VILLANUEVA-RODRÍGUEZ, S. J. Current status of emerging food processing technologies in Latin America: Novel thermal processing. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 50, p. 196–206, 2018.

PÉREZ-WON, M.; ROSALES-ACUÑA, C.; JIMÉNEZ, J.; et al. Combined PEF, CO₂, and HP application to chilled Coho salmon and its effects on quality attributes under different rigor conditions. *Food Science and Technology International*, Thousand Oaks, v. 27, n. 2, p. 174-184, Mar. 2021.

PICART-PALMADE, L.; CUNAULT, C.; CHEVALIER-LUCIA, D.; BELLEVILLE, M.-P.; MARCHESEAU, S. Potentialities and limits of some non-thermal technologies to improve sustainability of food processing. *Frontiers in Nutrition*, v. 5, Jan. 2019.

SEVERINO, AJ. *Metodologia do Trabalho Científico*. 24. ed. São Paulo: Cortez, 2017.

SILVA, C. O.; TEIXEIRA, L. J. Q.; LIMA FILHO, T. “Cadeia do Frio na Indústria de Alimentos”. In: *Tecnologia de Alimentos: Processamento Não Térmico*. Rio de Janeiro: Editora Rubio, p. 29-44, 2021.

SIROHI, R.; KUMAR, M.; TARAFDAR, A.; et al. Technologies for disinfection of food grains: Advances and way forward. *Food Control*, Amsterdam, v. 123, p. 107-131, Aug. 2021.

TOMADONI, B.; PAREDES, A.; MASSO, M.; et al. Natural antimicrobials combined with ultrasound treatments to enhance quality parameters and safety of unpasteurized strawberry juice. *Food Control*, Amsterdam, v. 110, p. 106985, Mar. 2020.

VAN WYK, J.; GIL, M.; GAMIZ-GRANDE, A.; et al. SO₂, high pressure processing and pulsed electric field treatments of red wine: Effect on sensory, Brettanomyces inactivation and other quality parameters during one-year storage. *Food Chemistry*, Amsterdam, v. 239, p. 111-118, Jan. 2018.

WARD, C.; DEMPSEY, C.; LYNCH, A.; et al. UV-C treatment on the safety of skim milk: Effect on microbial inactivation and physico-chemical properties. *Journal of Food Processing Engineering*, Hoboken, v. 42, n. 5, p. 13169, Sept. 2018.

YILDIZ, S.; BOZKURT, F.; KAPLAN, M.; et al. Shelf life extension of strawberry juice by equivalent ultrasound, high pressure, and pulsed electric fields processes. *Journal of Food Science and Technology*, Heidelberg, v. 58, n. 1, p. 295–303, Jan. 2021.

ZHU, Z.; LI, Y.; SUN, J.; et al. Evaluating the effects of plasma-activated slightly acidic electrolyzed water on bacterial inactivation and quality attributes of Atlantic salmon fillets. *Food Chemistry*, Amsterdam, v. 395, p. 133-144, Feb. 2023.