
IMPACTO DO ULTRASSOM NA DESCONTAMINAÇÃO MICROBIANA DE CARNES: UMA REVISÃO

ANA C. R. DA SILVA^{1*}, LENILTON S. SOARES², MARIELI DE LIMA¹

¹Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Mestrado em Engenharia de Alimentos

²Universidade Federal do Oeste da Bahia, Centro Multidisciplinar de Barra

*e-mail: anacrs@ufu.br

RESUMO – A segurança microbiológica de alimentos é um fator importante na qualidade dos produtos, sendo uma preocupação mundial. A indústria tem buscado cada vez mais formas de aprimorar seus processos, de forma a atender as demandas atuais do mercado. Com isso, novas tecnologias para descontaminação de alimentos têm surgido no mercado. O ultrassom é um método emergente, econômico e sustentável que tem ganhado espaço em diversos setores. Em carnes, tem demonstrado potencial de inativação de diversos microrganismos, inclusive os patogênicos. Dessa forma, essa revisão objetivou demonstrar o impacto da utilização da tecnologia de ultrassom na descontaminação de produtos cárneos. Para tanto, foi realizada uma revisão integrativa acerca do tema. Com essa pesquisa observou-se que a utilização do ultrassom na indústria tem sido bastante estudada, principalmente aliada a outros métodos que potencializem seus resultados. Na descontaminação de carnes, apesar de ser um método inovador, apresenta resultados muito variáveis, dificultando sua utilização em grande escala. Ademais, deve-se considerar que os efeitos mecânicos e físico-químicos provocados nesses produtos podem ser um fator limitante na utilização da tecnologia.

INTRODUÇÃO

A segurança dos produtos é um grande desafio para a indústria de alimentos em todo o mundo. Isso, aliado ao crescente número de consumidores em busca de uma dieta mais consciente, que atenda suas necessidades em termos de alimentos de qualidade e seja ecologicamente correta, fomenta o interesse no desenvolvimento de novas tecnologias de processamento que respondam a essa demanda (Latoch et al., 2023).

Para prolongar a vida útil de produtos cárneos, tem-se buscado desenvolver métodos de conservação que atuem na prevenção da deterioração e estabeleçam a qualidade microbiológica dentro dos padrões higiênico-sanitários (Pateiro et al., 2021).

Dentre esses métodos, tem-se o ultrassom. Considerado uma tecnologia de processamento verde, esse método emergente é utilizado em diversas etapas de

processamento na indústria de alimentos, como por exemplo nas etapas de limpeza e esterilização de equipamentos (Kang et al., 2020; Pennisi et al., 2020).

Em carnes, a aplicação de ultrassom é utilizada tanto nas etapas de processamento quanto na conservação. Essa tecnologia permite aumentar a permeabilidade no tecido muscular e, portanto, melhorar alguns aspectos nas etapas de cura (carne curada a seco), marinada (redução ou adição de sal), secagem (transferência de massa) e amolecimento (amaciação física) (Aykin-Dinçer, 2021; Ribeiro et al., 2021).

Seu uso tem sido incentivado devido ao seu potencial para controlar, melhorar e acelerar processos sem prejudicar a qualidade dos produtos alimentícios (Caraveo-Suarez et al., 2021; Chavan et al., 2022). Além de consumir menos energia e, conseqüentemente, ser mais econômico do que processos convencionais, tais como a adição de



conservantes, métodos térmicos de descontaminação e o processo de cura (Pennisi et al., 2020).

Neste contexto, esta revisão teve como objetivo demonstrar o impacto da utilização da tecnologia de ultrassom na descontaminação de produtos cárneos.

MÉTODOS

Uma revisão da literatura integrativa foi realizada para identificar o impacto da utilização da tecnologia de ultrassom na descontaminação de produtos cárneos. Para tanto, foram aplicados os seguintes critérios de elegibilidade: período de publicação de 2017 a 2023, artigos de pesquisa completos e publicados em inglês. As bases de dados pesquisadas foram: Web of Science, Science Direct, PubMed e Springer.

As seguintes palavras-chave foram utilizadas durante a pesquisa: “*ultrasound*”, “*sonication*”, “*meat*”. Além disso, a fim de otimizar as buscas, foi utilizado o operador booleano “AND” para combinar o termo “*meat*” com os demais termos.

Após triagem do total de artigos encontrados, foram selecionados 384 artigos com base em título, resumo e palavras-chave de acordo com critérios de elegibilidade para leitura integral.

Foram excluídos artigos duplicados, artigos que traziam o uso de ultrassom em outras áreas, revisões de literatura e resultados incompletos. Por fim, foram utilizados na pesquisa 33 artigos de pesquisa.

O ULTRASSOM

Segundo Yu et al. (2020), um ultrassom é definido como uma onda sonora com frequência que excede o limiar de audição humana de 20 kHz. As ondas ultrassônicas podem ser classificadas em duas categorias com base em sua frequência e intensidade. Ainda, de acordo com Rani e Tripathy (2019), amostras de alimentos são frequentemente pré-tratadas ultrassonicamente na faixa de 20 a 40

kHz. Podendo ser aplicada através de banhos ou probes.

De acordo com Alarcon-Rojo et al. (2015), o funcionamento desse método se baseia na liberação de energia juntamente com o choque mecânico, que resulta no impacto da arquitetura celular no microambiente. As características do sistema de ultrassom podem ser distinguidas pela intensidade ou frequência ultrassônica, podendo ser utilizada na indústria de alimentos em duas condições: em altas frequências e baixa potência; e em baixas frequências e alta potência.

Por definição, a sonicação cria ondas longitudinais que originam zonas de compressão e expansão alternadas (Sala et al., 1995). Dessa forma, o princípio de ação do ultrassom é atribuído principalmente ao efeito de cavitação acústica (Deng et al., 2021; Bonah et al., 2021), e aos efeitos mecânicos e térmicos (Bao et al., 2022).

De acordo com Bonah et al. (2021), estas ondas de choque micromecânicas perturbam os constituintes estruturais e funcionais celulares, causando afinamento das membranas celulares, aquecimento e produção de radicais livres, o que leva à lise celular.

O efeito de cavitação do ultrassom é responsável por facilitar o processamento de produtos cárneos através da quebra de moléculas de água para produzir radicais hidroxila e peróxido de hidrogênio (que possui fortes propriedades oxidantes), levando à oxidação de proteínas e lipídios na carne. Dessa forma, a oxidação lipídica e proteica é a principal razão para a melhoria dos níveis de qualidade organoléptica em produtos cárneos (Villamiel et al., 2017; Nehring et al., 2023).

Em comparação com os métodos tradicionais, tem as vantagens de ser altamente eficiente, instantâneo, seguro, ecologicamente correto e de baixo custo econômico (Zhao et al., 2019; Mohammadabadi et al., 2022).

Historicamente, o ultrassom foi utilizado no mercado de alimentos em altas frequências (2–10 MHz) e baixa potência (até 10 W). Porém, foi observado que o método utilizado, apesar de não ser destrutivo para as paredes



celulares, era pouco efetivo (Soria e Villamiel, 2010).

O ultrassom de alta intensidade, ou ultrassonicação, já demonstrou ser uma tecnologia bastante promissora. Nesse caso, o impacto das ondas acústicas na matriz alimentar pode gerar alta pressão e alta temperatura local, através das quais podem ser observados efeitos na transferência de massa, amaciamento da carne, extensão da vida útil e melhoria das propriedades funcionais dos produtos emulsionados, sem efeitos em outras propriedades de qualidade (González-González et al., 2017; Inguglia et al., 2018).

Ondas de ultrassom de alta intensidade e baixa frequência podem criar impactos físicos, químicos e mecânicos, que causam alterações estruturais e físico-químicas enquanto induzem reações químicas (Alarcon-Rojo et al., 2015). Fato este corroborado por Terefe, Sikes e Juliano (2016), que citam que essa tecnologia pode causar alterações na textura da carne, a depender da espécie animal, do tipo de músculo e das condições ultrassônicas, como a intensidade e a frequência.

Quando utilizado em baixas intensidades, o ultrassom apresenta aplicações como: melhorar a extração de quitina das cascas do caranguejo juntamente com a fermentação de *L. paracasei*, no crescimento termofílico de *Bacillus licheniformis*, entre outros (Dai et al., 2023; Xing et al., 2023).

Em outros estudos, o ultrassom foi utilizado em baixas frequências (20–100 kHz) e alta potência (100–10.000 W), o que acelera certas reações químicas por meio de alterações microestruturais e pode ser um problema em potencial para produtos cárneos (Piñon et al., 2020). A aplicação de ultrassons de alta intensidade na indústria de processamento de carnes tem sido investigada para processos de cozimento, inativação de microrganismos, descongelamento, cura, entre outros (Bonah et al., 2021; Cichoski et al., 2021; Zhang et al., 2023; Guo et al., 2023).

No entanto, esse método pode apresentar desvantagens que devem ser consideradas antes da escolha do método de descontaminação. Sendo elas: ruptura celular,

desativação de enzimas endógenas devido a alterações estruturais e degradação de pigmentos (Nowacka e Wedzik, 2016). Dessa forma, estudos específicos para cada tipo de alimento são muito importantes, a fim de identificar os parâmetros que ocasionem menos impactos no produto.

Outro fator importante que precisa ser abordado é que a energia absorvida do ultrassom pode levar à geração de calor e aumentar a temperatura do produto, o que resulta em danos térmicos à carne (Alarcon-Rojo et al., 2015).

A eficácia do ultrassom depende de vários fatores, como o microrganismo alvo do processo, as características do produto, a amplitude da onda, o tempo de exposição/contato e a temperatura (Marchesini et al., 2015). Diversos autores apontaram que a eficácia pode aumentar quando outras tecnologias de descontaminação estiverem associadas ao ultrassom, como o plasma, antimicrobianos naturais e o ácido fenilático (Royintarat et al., 2020; Costello et al., 2021; Zhang et al., 2021).

APLICAÇÃO DE ULTRASSOM NA DESCONTAMINAÇÃO DE CARNES

No que diz respeito ao efeito bactericida do ultrassom, foi demonstrado que essa tecnologia é benéfica à indústria alimentícia, visto que contribui para o aumento da segurança dos alimentos e prolonga a vida útil do produto (Carrillo-Lopez et al., 2019).

De acordo com Carrillo-Lopez et al. (2019a), o ultrassom de alta intensidade é um método atrativo para o tratamento de carne bovina devido à sua capacidade de diminuir a carga microbiana. Esse tratamento promove um aumento da vida útil, preservando a qualidade da carne. Estes benefícios seriam claramente vantajosos para muitos produtores de alimentos em termos de redução de custos e aumento da produtividade.

Pennisi et al. (2020) em estudo sobre a descontaminação ultrassônica em salmão defumado contaminado experimentalmente com *Listeria monocytogenes* observaram que a



inativação foi maior quando se utilizou temperaturas mais elevadas (30 °C, 40 °C e 50 °C). Porém, apesar de não alterar as características sensoriais do produto, a inativação ocorreu apenas em níveis subletais. É importante ressaltar que neste estudo, todas as amostras foram processadas a 20 kHz, amplitude de 100% e onda ultrassônica focada.

Este dado foi corroborado por Rosario et al. (2019), que estudaram a inativação de *Staphylococcus* spp. presentes na microbiota natural do lombo brasileiro fatiado curado com a utilização de ultrassom combinado com ácido peracético. Nesse estudo, foi empregada frequência de 40 kHz em temperaturas que variaram de 20 °C a 73 °C. Os autores observaram que o aumento da temperatura melhora o efeito bactericida do ultrassom, com ocorrência de efeito sinérgico. À temperatura de 73 °C, a inativação de *Staphylococcus* spp. chegou a 5,5 log UFC/g. Porém, apesar do método ter mostrado ser eficiente, estudos futuros são necessários para melhorar e otimizar o emprego do ultrassom na preservação de carnes.

Aguilar et al. (2021) mostraram uma inativação microbiana significativa exercida por tratamentos de ultrassom a uma frequência de 20 kHz em matrizes alimentares não líquidas. Nesse estudo, os autores observaram que a aplicação de pulsos de ultrassom com ciclos entre 7,7 e 400 W de potência por 10 minutos em uma emulsão de carne crua, representou uma redução microbiana acima de 60% da microflora natural nos ciclos de onda pulsada de 10 segundos, porém uma interação antagonista relacionada à intensidade de energia para os três tipos de microrganismos (*L. delbrueckii* e *L. monocytogenes*) foi observada, demonstrando aplicabilidade desse método na indústria.

Luo et al. (2022) relatam que muitas pesquisas estão preocupadas em avaliar os efeitos bactericidas do ultrassom (isolado ou em aplicação combinada) sobre a *Salmonella* em matrizes alimentares relevantes. Porém, esse tratamento geralmente não é capaz de promover ausência de *Salmonella*, requisito para garantir a segurança de alimentos, mesmo

quando se aplica alta potência de ultrassom ou em combinação com agentes antibacterianos. Dessa forma, os mecanismos pelos quais as células de *Salmonella* sobrevivem ao tratamento com ultrassom precisam ser explorados, para que métodos mais eficazes sejam aplicados, alcançando a letalidade dessa bactéria.

Inativação de *Salmonella enterica* subs. *Typhimurium* foi observada após tratamento com ultrassom em meios não resfriados, onde as amostras foram multiplicadas em meio nutriente líquido (37 °C) a frequências de 20, 40 e 100 kHz e intensidade de 10,5 W/cm² por 30 minutos. Esse efeito foi observado no armazenamento por 48 horas, após tratamento com frequência de 20 kHz por 30 minutos e os resultados sugerem que novas pesquisas devem ser realizadas, avaliando as ondas ultrassônicas acompanhadas de outros fatores físicos, incluindo alteração da atividade da água ou do pH do meio utilizado na pesquisa, visto que estes fatores podem ocasionar alterações no material utilizado (Sienkiewicz et al., 2017).

Piñon et al. (2020) buscaram avaliar a microflora do peito de frango tratado com ultrassom de alta intensidade (frequência de 40 kHz, intensidade de 9,6 W/cm²). Nesse estudo, eles observaram que o tratamento com ultrassom de alta intensidade diminuiu o número de psicotróficos significativamente sob embalagem a vácuo. Além disso, os números de *S. aureus* tiveram uma redução significativa após 50 minutos de sonicação.

Na Tabela 1 estão organizados os estudos com a utilização da tecnologia de ultrassom como descontaminante de produtos cárneos, sozinho ou associado a outras tecnologias, de acordo com o microrganismo estudado. Esses dados contemplam a maior redução microbiana atingida nas pesquisas, organizados de acordo com os microrganismos estudados.

Conforme mostrado na Tabela 1, a utilização do ultrassom como descontaminante em carnes tem sido utilizada em diversos modelos animais e também em estudos *in vitro*. É possível presumir que estudos



realizados *in vitro* atingem maiores níveis de inativação microbiana, devido ao maior controle da amostra estudada. Nota-se ainda que há um interesse da indústria de pescados

nessa tecnologia, visto que diversos trabalhos vêm sendo desenvolvidos nessa área.

Tabela 1: Impacto da utilização do ultrassom com ou sem associação a outros métodos na descontaminação de carnes.

Microrganismo	Modelo de estudo	Grau de redução	Autor
<i>Listeria monocytogenes</i>	Salmão	2,44 log UFC/g	Pennisi et al. (2020)
	Carpa	3,70 log UFC/g	Esua et al. (2022)
<i>E. coli</i>	Carne suína	4,6 log UFC/cm ²	Bonah et al. (2021)
	Frango	1,33 log UFC/ml	Royintarat et al. (2020)
	Carpa	0,22 log UFC/g	Esua, Cheng e Sun (2021)
	Carpa	3,92 log UFC/g	Esua et al. (2022)
	Frango	> 0,5 log UFC/g	Moazzami et al. (2021)
	<i>In vitro</i>	3,22 log UFC/ml	Guo et al. (2020)
	Frango	1,33 log UFC/ml	Royintarat et al. (2020)
	Presunto curado	3,62 log UFC/g	Castillo-Zamudio et al. (2021)
<i>Salmonella spp.</i>	Carne bovina	0,2 log UFC/g	Kang et al. (2017)
	<i>In vitro</i>	2,87 log UFC/ml	Luo et al. (2022)
	Pele de galinha	2,86 log UFC/g	Seo et al. (2019)
	<i>In vitro</i>	5,0 log UFC/ml	Zhang et al. (2021)
<i>Shewanella putrefaciens</i>	Carne suína	4,6 log UFC/cm ²	Bonah et al. (2021)
	Carpa	0,23 log UFC/g	Esua, Cheng e Sun (2021)
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>In vitro</i>	4,24 log UFC/ml	Su et al. (2022)
<i>S. aureus</i>	Frango	0,83 log UFC/ml	Royintarat et al. (2020)
	<i>In vitro</i>	3,4 log UFC/ml	Zhang et al. (2021)
	Carneiro	1,13 log UFC/g	Sun et al. (2021)
	Frango	0,46 log UFC/ml	Royintarat et al. (2020)
Contagem viável total	Corvina	> 0,76 log UFC/g	Zhao et al. (2021)
	Vieira	1,0 log UFC/g	Liu et al. (2022)
	Lagostim	1,17 log UFC/g	Sun et al. (2023)
Bactérias ácido-láticas	Mortadela	> 0,36 log UFC/g	Leães et al. (2021)
<i>V. parahaemolyticus</i>	Salmão	4 log UFC/ml	Zhu et al. (2023)
<i>C. jejuni</i>	Frango	> 0,5 log UFC/g	Moazzami et al. (2021)
<i>Bacillus cereus</i>	<i>In vitro</i>	3,12 log UFC/ml	Lv et al. (2019)
	Carne bovina	1,38 log UFC/g	Kang et al. (2017)

Fonte: autor, 2023.

Piñon et al. (2019) constataram que o ultrassom de alta intensidade nas frequências de 20 kHz, 40 kHz e 850 kHz controla imediatamente o desenvolvimento de bactérias mesófilas, psicrótróficas e ácido-láticas na carne de frango. Além disso, observaram que o sistema de sonda ultrassônica (20 kHz)

desenvolvido no estudo pode ser considerado a melhor opção para controlar o crescimento dessas bactérias em carne de frango armazenada a 4 °C. Sendo que a duração do tratamento e a frequência utilizada são fatores vitais que determinam o efeito do tratamento sobre os microrganismos.

Em contrapartida, um estudo realizado por Carrillo-Lopez et al. (2019b) em carne bovina mostrou que o uso de ultrassom diminuiu a contagem bacteriana mesófila e de coliformes após o processo, porém a contagem bacteriana aumentou tanto nas amostras sonicadas quanto nas amostras de controle durante o armazenamento. Enquanto foi capaz de reduzir as bactérias psicrófilas, mesmo após armazenamento de até 7 dias nas amostras controle e sonicadas. De acordo com os autores, o ultrassom pode trazer resultados variáveis e depende da frequência e intensidade utilizadas.

Em carne bovina, foi observado também que, ao se aplicar ultrasonicação, o tempo ideal para a maciez da carne não é o melhor para reduzir a contagem microbiana. Os autores verificaram que a redução microbiana foi maior aos 10 minutos de aplicação do método de ultrassom, onde foram alcançadas as contagens mais baixas de microrganismos. Enquanto a melhora da maciez foi diretamente proporcional ao tempo de ultrasonicação. É importante salientar que o ultrassom é capaz de impactar as propriedades mecânicas da carne, provocando alterações estruturais em micro ou macroescala nas fibras, levando ao amaciamento (Diaz-Almanza et al., 2019).

Um estudo recente mostrou que a associação do ultrassom com aplicação simultânea de cinamaldeído resultou em um efeito de inativação sinérgica contra *Staphylococcus aureus* resistente à metilicina (MRSA). De acordo com os autores, o efeito protetor direto do *Staphylococcus aureus* resistente à metilicina não foi induzido pelo tratamento simultâneo. Dessa forma, houve aumento da permeabilidade da membrana celular facilitada pelo ultrassom, que permitiu que o cinamaldeído penetrasse nas células MRSA. Além disso, a capacidade prejudicada de eliminação de espécies reativas ao oxigênio e o metabolismo energético interrompido contribuíram para o aumento da mortalidade das células MRSA (Hu et al., 2023).

Quando utilizando como um pré-tratamento associado ao cozimento a 50 °C, o ultrassom retardou efetivamente o crescimento da contagem viável total de bactérias na carne de esturjão russo e transformou o principal gênero dominante de *Pseudomonas* em

Carnobacterium, com uma diminuição no número de espécies microbianas. Além disso, formou agregados proteicos mais estáveis que inibiram a oxidação proteica e lipídica das amostras (Yuan et al., 2023).

A aplicação de ultrassom para a estimulação do crescimento de microrganismos fermentadores de derivados cárneos é outra tendência que vem sendo investigada. Nehring et al. (2022) inocularam *Staphylococcus xylosus* em subprodutos esterilizados de aves e observaram que, logo após a sonicação, não houve nenhum efeito estimulante no crescimento bacteriano. Porém, após 24 h de incubação, algumas amostras exibiram melhor efeito estimulador nas contagens de crescimento de *S. xylosus*, alcançando 8,23 log UFC/g.

Estudo *in vitro* desenvolvido por Dai et al. (2023) utilizou o ultrassom de baixa intensidade e frequência fixa para melhorar o crescimento de *Bacillus licheniformis*. Os parâmetros ultrassônicos considerados ideais foram: 28 kHz, 120 W e 1,5 h. E nesse contexto os autores observaram que a biomassa de *B. licheniformis* na metáfase logarítmica aumentou significativamente em 48,95% após incubação por 24 horas. Além disso, essa tecnologia também foi capaz de promover a germinação de esporos.

CONCLUSÃO

O ultrassom é uma tecnologia emergente, econômica e ecologicamente correta. Sua utilização na indústria de alimentos tem sido bastante estudada, principalmente aliada a outros métodos que potencializem seus resultados. Na descontaminação de carnes, apesar de ser um método inovador, apresenta resultados muito variáveis, dificultando sua utilização em grande escala. Ademais, deve-se considerar que os efeitos mecânicos e físico-químicos provocados pelo ultrassom nesses produtos podem ser um fator limitante na utilização dessa tecnologia.

REFERÊNCIAS

AGUILAR, C.; SERNA-JIMÉNEZ, J.; BENITEZ, E.; VALENCIA, V.;

- OCHOA, O.; SOTELO, L. I. Influence of high-power ultrasound on natural microflora, pathogen and lactic acid bacteria in a raw meat emulsion. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 72, 2021.
- ALARCON-ROJO, A. D.; JANACUA, H.; RODRIGUEZ, J. C.; PANIWNKY, L.; MASON, T. J. Power ultrasound in meat processing. *Meat Science*, v. 107, p. 86-93, 2015.
- AYKIN-DINÇER, E. Application of ultrasound-assisted vacuum impregnation for improving the diffusion of salt in beef cubes. *Meat Science*, v. 176, 2021.
- BAO, G.; NIU, J.; LI, S.; ZHANG, L.; LUO, Y. Effects of ultrasound pretreatment on the quality, nutrients and volatile compounds of dry-cured yak meat. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 82, 2022.
- BONAH, E.; HUANG, X.; HONGYING, Y.; AHETO, J. H.; YI, R.; YU, S.; TU, H. Nondestructive monitoring, kinetics and antimicrobial properties of ultrasound technology applied for surface decontamination of bacterial foodborne pathogen in pork. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 70, 2021.
- CARAVEO-SUAREZ, R.O.; GARCIA-GALICIA, I.A.; SANTELLANO-ESTRADA, E.; CARRILLO-LOPEZ, L.M.; HUERTA-JIMENEZ, M.; VARGAS-BELLO-PÉREZ, E.; ALARCON-ROJO, A.D. High-Frequency Focused Ultrasound on Quality Traits of Bovine *Triceps brachii* Muscle. *Foods*, v. 10, 2021.
- CARRILLO-LOPEZ, L. M.; HUERTA-JIMENEZ, M.; GARCIA-GALICIA, I. A.; ALARCON-ROJO, A. D. Bacterial control and structural and physicochemical modification of bovine *Longissimus dorsi* by ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 58, 2019a.
- CARRILLO-LOPEZ, L. M.; LUNA-RODRIGUEZ, L.; ALARCON-ROJO, A. D.; HUERTA-JIMENEZ, M. High intensity ultrasound homogenizes and improves quality of beef *Longissimus dorsi*. *Food Science and Technology*, v. 39, sup. 1, p. 332-340, 2019b.
- CASTILLO-ZAMUDIO, R. I.; PANIAGUA-MARTÍNEZ, I.; ORTUNO-CASES, C.; GARCÍA-ALVARADO, M. A.; LARREA, V.; BENEDITO, J. Use of high-power ultrasound combined with supercritical fluids for microbial inactivation in dry-cured ham. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, v. 67, 2021.
- CHAVAN, P.; SHARMA, P.; SHARMA, S. R.; MITTAL, T. C.; JAISWAL, A. K. Application of high-intensity ultrasound to improve food processing efficiency: A review. *Foods*, v. 11, n. 122, 2022.
- CICHOSKI, A. J.; SILVA, J. S.; LEÃES, Y. S. V.; ROBALO, S. S.; SANTOS, B. A.; REIS, S. R.; NEHRING, P.; SANTOS, S. P.; WAGNER, R.; MENEZES, C. R.; CAMPAGNOL, P. C. B. Effects of ultrasonic-assisted cooking on the volatile compounds, oxidative stability, and sensory quality of mortadella. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 72, 2021.
- COSTELLO, K. M.; VELLIUO, E.; GUTIERREZ-MERINO, J.; SMET, C.; KADRI, H. E.; IMPE, J. F. V.; BUSSEMAKER, M. The effect of ultrasound treatment in combination with nisin on the inactivation of *Listeria innocua* and *Escherichia coli*. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 79, 2021.
- DAI, C.; SHU, Z.; XU, X.; YAN, P.; DABBOUR, M.; MINTAH, B. K.; HUANG, L.; HE, R.; MA, H. Enhancing the growth of thermophilic *Bacillus licheniformis* YYC4 by low-intensity fixed-frequency continuous ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 100, 2023.
- DENG, X.; MA, Y.; LEI, Y.; ZHU, X.; ZHANG, L.; HU, L.; LU, S.; GUO, X.; ZHANG, J. Ultrasonic structural modification of myofibrillar proteins from *Coregonus peled* improves emulsification properties. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 86, 2021.
- DIAZ-ALMANZA, S.; REYES-VILLAGRANA, R.; ALARCON-ROJO, A. D.; HUERTA-JIMENEZ, M.; CARRILLO-LOPEZ, L. M.; ESTEPP, C.; URBINA-PEREZ, J.; GARCIA-GALICIA, I. A. Time matters when

- ultrasonicating beef: The best time for tenderness is not the best for reducing microbial counts. *Food Process Engineering*, v. 42, 2019.
- ESUA, O. J.; CHENG, J-H.; SUN, D-W. Novel technique for treating grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) by combining plasma functionalized liquids and Ultrasound: Effects on bacterial inactivation and quality attributes. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 76, 2021.
- ESUA, O. J.; SUN, D-W.; AJANI, C. K.; CHENG, J-H.; KEENER, K. M. Modelling of inactivation kinetics of *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes* on grass carp treated by combining ultrasound with plasma functionalized buffer. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 88, 2022.
- GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, L.; LUNA-RODRÍGUEZ, L.; CARRILLO-LÓPEZ, L.M.; ALARCÓN-ROJO, A.D.; GARCÍA-GALICIA, I.; REYES-VILLAGRANA, R. Ultrasound as an Alternative to Conventional Marination: Acceptability and Mass Transfer. *Journal of Food Quality*, p. 1-8, 2017.
- GUO, L.; SUN, Y.; ZHU, Y.; WANG, B.; XU, L.; HUANG, M.; LI, Y. The antibacterial mechanism of ultrasound in combination with sodium hypochlorite in the control of *Escherichia coli*. *Food Research International*, v. 129, 2020.
- GUO, L.; XU, X.; ZHANG, X.; CHEN, Z.; HE, R. Application of simultaneous ultrasonic curing on pork (*Longissimus dorsi*): Mass transport of NaCl, physical characteristics, and microstructure. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 92, 2023.
- HU, Z.; ZHANG, J.; SUN, Y.; XU, J.; YU, Z.; HUANG, L.; YAO, W.; XIE, Y. Inactivation action of ultrasound-assisted cinnamaldehyde on planktonic and biofilm methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* and its application in beef system. *Food Bioscience*, v. 55, 2023.
- INGUGLIA, E.S.; ZHANG, Z.; BURGESS, C.; KERRY, J.P.; TIWARI, B.K. Influence of extrinsic operational parameters on salt diffusion during ultrasound assisted meat curing. *Ultrasonics*, v. 83, p. 164–170, 2018.
- KANG, D.; JIANG, Y.; XING, L.; ZHOU, G.; ZHANG, W. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Bacillus cereus* by power ultrasound during the curing processing in brining liquid and beef. *Food Research International*, v. 102, 2017.
- KANG, D.; ZHANG, W.; LORENZO, J.M.; CHEN, X. Structural and functional modification of food proteins by high power ultrasound and its application in meat processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2020.
- LATOCH, A.; STASIAK, D.M.; JUNKUSZEW, A. Combined Effect of Acid Whey Addition and Ultrasonic Treatment on the Chemical and Microbiological Stability of Lamb Stuffing. *Foods*, v. 12, 2023.
- LEÃES, Y. S. V.; SILVA, J. S.; ROBALO, S. S.; PINTON, M. B.; SANTOS, S. P.; WAGNER, R.; BRASIL, C. C. B.; MENEZES, C. R.; BARIN, J. S.; CAMPAGNOL, P. C. B.; CICHOSKI, A. J. Combined effect of ultrasound and basic electrolyzed water on the microbiological and oxidative profile of low-sodium mortadellas. *International Journal of Food Microbiology*, v. 353, 2021.
- LIU, B.; LI, D.; WU, Z.; WANG, W.; ZHOU, D.; ZHU, B. Combined effects of ultrasound and antioxidants on the quality maintenance of bay scallop (*Argopecten irradians*) adductor muscles during cold storage. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 82, 2022.
- LUO, W.; WANG, J.; CHEN, Y.; WANG, Y.; LI, R.; TANG, J.; GENG, F. Quantitative proteomic analysis provides insight into the survival mechanism of *Salmonella typhimurium* under high-intensity ultrasound treatment. *Current Research in Food Science*, v. 5, 2022.
- LV, R.; ZOU, M.; CHANTAPAKUL, T.; CHEN, W.; MUHAMMAD, A. I.; ZHOU, J.; DING, T.; YE, X.; LIU, D. Effect of ultrasonication and thermal and pressure treatments, individually and combined, on inactivation of *Bacillus*

- cereus* spores. Applied Microbiology and Biotechnology, v. 103, p. 2329–2338, 2019.
- MOAZZAMI, M.; BERGENKVIST, E.; FERNSTROM, L-L.; RYDÉN, J.; HANSSON, I. Reducing *Campylobacter jejuni*, Enterobacteriaceae, *Escherichia coli*, and Total Aerobic Bacteria on Broiler Carcasses Using Combined Ultrasound and Steam. Journal of Food Protection, v. 84, n. 4, p. 572–578, 2021.
- MOHAMMADABADI, S.; GOLI, M.; NAJI TABASI, S. Optimization of Bioactive Compound Extraction from Eggplant Peel by Response Surface Methodology: Ultrasound-Assisted Solvent Qualitative and Quantitative Effect. Foods, v. 11, 2022.
- MULET, A.; BENEDITO, J.; GOLAS, Y.; CARCEL, J. A. Noninvasive ultrasonic measurements in the food industry. Food Reviews International, v. 18, n. 2–3, p. 123–133, 2002.
- NEHRING, P.; LORENZO, J. M.; SANTOS, S. P.; WAGNER, R.; MENEZES, C. R.; SANTOS, B. A.; BARIN, J. S.; CAMPAGNOL, P. C. B.; CICHOSKI, A. J. Effect of ultrasound application on the growth of *S. xylosus* inoculated in by-products from the poultry industry. Current Research in Food Science, v. 5, 2022.
- NEHRING, P.; LORENZO, J. M.; VENDRUSCOLO, R. G.; FURLAN, V. J. M.; SEIBT, A. C. M. D.; LEÃES, Y. S. V.; ROBALO, S. S.; WAGNER, R.; BARIN, J. S.; MENEZES, C. R.; CAMPAGNOL, P. C. B.; CICHOSKI, A. J. Effect of ultrasound and *Staphylococcus xylosus* on the bioconversion of cooked chicken meat by-products. Food Chemistry Advances, v. 3, 2023.
- NOWACKA, M.; WEDZIK, M. Effect of ultrasound treatment on microstructure, colour and carotenoid content in fresh and dried carrot tissue, Appl. Acoust., v. 103, p. 163–171, 2016.
- PATEIRO, M.; DOMÍNGUEZ, R.; LORENZO, J.M. Recent Research Advances in Meat Products. Foods, v. 10, 2021.
- PENNISI, L.; CLERICO, D. D.; CONSTANTINI, L.; FESTINO, A. R.; VERGARA, A. Ultrasonic decontamination in smoked salmon experimentally contaminated with *Listeria monocytogenes*: Preliminary results. Italian Journal of Food Safety, v. 9, 2020.
- PIÑÓN, M. I.; ALARCON-ROJO, A. D.; RENTERIA, A. L.; CARRILLO-LOPEZ, L. M. Microbiological properties of poultry breast meat treated with high-intensity ultrasound. Ultrasonics, v. 102, 2020.
- PIÑÓN, M.; ALARCON-ROJO, A.; PANIWNKY, L.; MASON, T.; LUNA, L.; RENTERIA, A. Ultrasound for improving the preservation of chicken meat. Food Science and Technology, v. 39, suppl. 1, p. 129-135, 2019.
- RANI, P.; TRIPATHY, P. P. Effect of ultrasound and chemical pre-treatment on drying characteristics and quality attributes of hot air dried pineapple slices, Journal of Food Science and Technology, v. 56, n. 11, p. 4911–4924, 2019.
- RIBEIRO, S. M. A.; ONOFRE, C. S. P. M.; BARRETTO, T. L.; DARROS-BARBOSA, R.; DA SILVABARRETTO, A. C.; TELIS-ROMERO, J. Technological and diffusion properties in the wet salting of beef assisted by ultrasound. LWT – Food Science and Technology, v. 149, 2021.
- ROSARIO, D. K. A.; BERNARDO, Y. A. A.; MUTZ, Y. S.; TIWARI, B.; RAJKOVIC, A.; BERNARDES, P. C.; CONTE-JUNIOR, C. A. Modelling inactivation of *Staphylococcus* spp. on sliced Brazilian dry-cured loin with thermosonication and peracetic acid combined treatment. International Journal of Food Microbiology, v. 309, 2019.
- ROYINTARAT, T.; CHOI, E. H.; BOONYAWAN, D.; SEESURIYACHAN, P.; WATTANUTCHARIYA, W. Chemical-free and synergistic interaction of ultrasound combined with plasma-activated water (PAW) to enhance

- microbial inactivation in chicken meat and skin. *Scientific Reports*, v. 10, 2020.
- SALA, F. J.; BURGOS, J.; CONDON, S.; LOPEZ, P.; RASO, J. Effect of heat and ultrasound on microorganisms and enzymes. In: GOULD, G. W. (Ed). *New methods of food preservation*. Springer, USA, pp. 176-204, 1995.
- SEO, M. K.; JEONG, H. L.; HAN, S. H.; KANG, I.; HA, S. D. Impact of ethanol and ultrasound treatment on mesophilic aerobic bacteria, coliforms, and *Salmonella Typhimurium* on chicken skin. *Poultry Science*, v. 98, p. 6954-6963, 2019.
- SIENKIEWICZ, J. J.; WESOŁOWSKI, A.; STANKIEWICZ, W.; KOTOWSKI, R. The influence of ultrasonic treatment on the growth of the strains of *Salmonella enterica* subs. *Typhimurium*. *Journal of Food Science and Technology*, v. 54, n. 8, p. 2214-2223, 2017.
- SORIA, A. C.; VILLAMIEL, M. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: A review. *Trends in Food Science & Technology*, v. 21, p. 323-331, 2010.
- SU, Y.; JIANG, L.; CHEN, D.; YU, H.; YANG, F.; GUO, Y.; XIE, Y.; YAO, W. In vitro and in silico approaches to investigate antimicrobial and biofilm removal efficacies of combined ultrasonic and mild thermal treatment against *Pseudomonas fluorescens*. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 83, 2022.
- SUN, J.; WANG, D.; SUN, Z.; LIU, F.; DU, L.; WANG, D. The combination of ultrasound and chlorogenic acid to inactivate *Staphylococcus aureus* under planktonic, biofilm, and food systems. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 80, 2021.
- SUN, R.; XU, W.; XIONG, L.; JIANG, N.; XIA, J.; ZHU, Y.; WANG, C.; LIU, Q.; MA, Y.; LUO, H. The combined effects of ultrasound and plasma-activated water on microbial inactivation and quality attributes of crayfish during refrigerated storage. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 98, 2023.
- TEREFE, N. S.; SIKES, A. L.; JULIANO, P. Ultrasound for structural modification of food products. In: *Innovative food processing technologies*. Knoerzer K, Juliano P, Smithers G (ed). Woodhead, Sawston, UK. pp 209-230, 2016.
- VILLAMIEL, M.; MONTILLA, A.; GARCÍA-PÉREZ, J. V.; CARCEL, J. A.; BENEDITO, J. *Ultrasound in Food Processing. Recent advances*. John Wiley & Sons Ltd, 1st ed., 2017.
- XING, Y.; AWEYA, J. J.; JIN, R.; LIN, R.; WENG, W.; ZHANG, Y.; DENG, S.; YANG, S. Low-intensity ultrasound combines synergistically with *Lactocaseibacillus paracasei* fermentation to enhance chitin extraction from crab shells. *LWT*, v. 179, 2023.
- YU, H. LIU, Y.; LI, L.; GUO, Y.; XIE, Y.; CHENG, Y.; YAO, W. Ultrasound-involved emerging strategies for controlling foodborne microbial biofilms. *Trends in Food Science & Technology*, v. 96, p. 91–101, 2020.
- YUAN, Y.; CAI, W.; WANG, M.; LIU, Y.; FU, J-J.; CHEN, Y-W. Effects of sous vide cooking combined with ultrasound pretreatment on physicochemical properties and microbial communities of Russian sturgeon meat (*Acipenser gueldenstaedti*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 103, p. 2166-2174, 2023.
- ZHANG, J.; WANG, D.; SUN, J.; SUN, Z.; LIU, F.; DU, L.; WANG, D. Synergistic Antibiofilm Effects of Ultrasound and Phenyllactic Acid against *Staphylococcus aureus* and *Salmonella enteritidis*. *Foods*, v. 10, 2021.
- ZHANG, Z.; SHI, W.; WANG, Y.; MENG, X.; DABBOUR, M.; MINTAH, B. K.; CHEN, X.; CHEN, X.; HE, R.; MA, H. Mono-frequency ultrasonic-assisted thawing of frozen goose meat: Influence on thawing efficiency, product quality and microstructure. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 98, 2023.
- ZHAO, X.; LAN, W.; ZHAI, Y.; XIE, J. Multi-frequency ultrasound: A potential method to improve the effects of surface decontamination and structural characteristics on large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) during

refrigerated storage. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 79, 2021.

ZHAO, X.; SUN, Y.; ZHOU, Y.; LENG, Y. Effect of ultrasonic-assisted brining on mass transfer of beef. *Journal of Food Process Engineering*, v. 42, 2019.

ZHU, X.; YAN, H.; CUI, Z.; LI, H.; ZHOU, W.; LIU, Z.; ZHANG, H.; MANOLI, T.; MO, H.; HU, L. Ultrasound-assisted blue light killing *Vibrio parahaemolyticus* to improve salmon preservation. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 95, 2023.