



RENNER RODRIGO GONÇALVES

TECNOLOGIAS EMERGENTES NA INDÚSTRIA CÁRNEA

LAVRAS – MG

2022

RENNER RODRIGO GONÇALVES

TECNOLOGIAS EMERGENTES NA INDÚSTRIA CÁRNEA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Lavras (UFLA), como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Alimentos.

LAVRAS-MG

2022

RENNER RODRIGO GONÇALVES

**TECNOLOGIAS EMERGENTES NA INDÚSTRIA
CÁRNEA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Lavras, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Alimentos.

Aprovado em ____ de _____ de 2022.

Dra. Michelle Carlota Gonçalves UFLA

Ms Luiz Claudio Pepe Luz UFLA

Profa. Dra. Roberta Hilsdorf Piccoli

Orientadora

LAVRAS

2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre me guiar pelos melhores caminhos e nunca me abandonar nas situações difíceis. À minha família, em especial aos meus pais Adriana e Gilmar por todo amor, incentivo, compreensão e suporte durante essa jornada. As minhas irmãs Hellen e Hemelly pelo companheirismo, apoio e inspiração como pessoa. Aos meus sobrinhos, Raphael e Thomas pelo carinho e zelo durante estes anos. Aos meus tios Alexandre e Paula e meus primos Nayne, Ruan e Polyanna pelo apoio e incentivo.

Agradeço a todos os meus amigos que, perto ou longe, sempre se fizeram presentes em cada momento da graduação. Destaco aqui Amanda, Ana Cláudia, Brenda, Elisa, Guilherme, Sabrina, Sarah por compartilharem momentos de tristeza e alegria desde o início da jornada acadêmica. Aos meus amigos de longa data Erom Michele e Wagner que estiveram comigo independente da distância. À Andrezza, Gabriel, Jéssica, Joyce, Milena que se tonaram presentes nos últimos anos da graduação.

Às entidades que participei NENP, Consea Júnior e Vôlei UFLA, meu muito obrigado por toda a experiência vivida e desenvolvimento tanto pessoal, quanto profissional, e por todos os laços de amizade criados. Ao laboratório de Microbiologia de Alimentos do DCA, pelos vários conhecimentos desenvolvidos e aplicados, em especial à professora Roberta.

Agradeço a todo o time do Jeito Caseiro e Grupo Carrefour Brasil pelos ensinamentos durante o período de estágio, agregando para meu desenvolvimento pessoal e formação profissional.

Por fim, à Universidade Federal de Lavras, agradeço a oportunidade de me tornar Bacharel em Engenharia de Alimentos e por todo suporte oferecido durante os anos de graduação, mesmo em meio as dificuldades encontradas.

RESUMO

A indústria de alimentos sofreu mudanças devido as novas exigências do consumidor por maiores garantias de qualidade e inocuidade de alimentos. Por serem um dos principais veiculadores de doenças de origem alimentar, os alimentos devem ser processados adequadamente para inativação de microrganismos patogênicos a níveis que não representem perigo a saúde humana. *Escherichia coli* é a principal espécie dos coliformes termotolerantes, considerada um indicador de contaminação fecal, associadas a presença de patógenos entéricos em carnes. A carnes e os produtos cárneos, devido a riqueza em nutrientes essenciais e alta atividade de água, são muito propensos à contaminação e crescimento microbiano ao longo de toda sua cadeia produtiva. Assim, com o aumento no interesse do consumidor em produtos alimentícios de alta qualidade e livre de aditivos foi estimulado o desenvolvimento de tecnologias de processamentos não-térmicos/atérmicos como alternativa para processamentos térmicos. Contudo, os processos atérmicos não prejudicam a qualidade sensorial dos produtos, sendo necessário que sejam avaliados os parâmetros e que estes processos sejam combinados com outros métodos. O objetivo dessa revisão teórica foi verificar o estado da arte dessas tecnologias emergentes atérmicas e suas combinações seus efeitos sobre *E. coli*. Para isso foi realizada pesquisa bibliográfica com leitura exploratória e seletiva, analisando e interpretando estudos. As tecnologias emergentes atérmicas estudadas apresentaram bons resultados na inativação da *E. coli*, porém a produção de radicais livre durante o processamento pode causar a oxidação lipídica das carnes. Além disso, a combinação entre métodos parece ser uma maneira viável de reduzir tempo de processamento e aumentar a qualidade sensorial.

Palavras-chave: tecnologias emergentes; tecnologias atérmicas; produtos cárneos.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2 OBJETIVOS	9
2.1. Objetivo Geral	9
2.2. Objetivos Específicos	9
3. METODOLOGIA	10
4. REFERENCIAL TEÓRICO	12
4.1 Contaminação Alimentar	12
4.2 <i>Escherichia coli</i>	13
4.3. Processamento de produtos cárneos: tecnologias emergentes.....	14
4.3.1 Plasma a frio	16
4.3.2 Descarga em barreira dielétrica	19
4.3.3 Jato de plasma à pressão atmosférica	19
4.3.4 Descarga corona	19
4.3.5 Descarga micro-ondas	19
4.3.6. Ultrassom.....	21
4.3.7 Processamento em alta pressão (HPP).....	24
5. CONCLUSÃO	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

1. INTRODUÇÃO

O bem-estar dos seres humanos e o crescimento da empresa estão ligados à segurança alimentar. Atrelado a isto, a indústria de alimentos sofreu mudanças devido as novas exigências do consumidor por maiores garantias de qualidade e inocuidade de alimentos. (MONTEIRO; MALTA, 2020).

Por serem um dos principais veiculadores de doenças de origem alimentar, os alimentos devem ser processados adequadamente para inativação de microrganismos patogênicos a níveis que não representem perigo a saúde humana. Garantir o controle de qualidade dos alimentos processados é imprescindível, assegurando a seleção da matéria-prima, transporte, manipulação e armazenamento de forma segura e em condições adequadas, evitando a multiplicação de microrganismos causadores de DVA.

No Brasil os principais causadores das doenças veiculadas por alimentos são: *Salmonella*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, Rotavírus e Norovírus (FERIGOLO, 2019). Dentre eles destacam-se *Salmonella* e *Escherichia coli*, que são as bactérias gram-negativas mais importantes e comuns entre os patógenos responsáveis por DVA em produtos de origem animal (GONZÁLEZ-GONZÁLEZ *et al.*, 2021).

Escherichia coli é a principal espécie dos coliformes termotolerantes, considerada um indicador de contaminação fecal, associadas a presença de patógenos entéricos em carnes. É uma bactéria gram-negativa, anaeróbica facultativa, em formato de bacilos, não esporulados, mesófilos com temperatura ótima para crescimento entre 35 e 37 °C, é móvel com flagelos peritríqueos e faz parte da família *Enterobacteriaceae*. Além disso, devido a sua capacidade de obter energia pelo processo de respiração ou fermentação, este microrganismo aeróbios facultativos é capaz de fermentar sorbitol, xilose, glicose, maltose, manose, manitol e arabinose, produzindo ácido e gás (COSTA, 2022; FERIGOLO, 2019).

Os alimentos como carnes *in natura*, de qualquer espécie animal (bovina, suína, carnes de caça, aves e exóticas) podem veicular *E. coli*. Assim, é importante ter atenção especial sobre esta bactéria, pois está diretamente ligada às toxinfecções alimentares (FERIGOLO, 2019).

A carne e os produtos cárneos, devido a riqueza em nutrientes essenciais e alta atividade de água e elevada manipulação, são muito propensos à contaminação e crescimento microbiano ao longo de toda sua cadeia produtiva. Contudo, os processos

tradicionais de descontaminação de carnes e produtos cárneos reduzem a qualidade sensorial e físico-química através do uso de altas temperaturas. As principais alterações negativas causadas são a perda de textura, oxidação lipídica e formação de compostos indesejáveis (hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, aminas heterocíclicas e compostos nitrosos) (CHIEN *et al.*, 2019; RODRIGUES, 2021).

Os métodos mais comuns para prevenir o crescimento de microrganismos em carnes são: aplicação de calor, desidratação, resfriamento, congelamento, reduzindo atividade de água e pH, adição de conservantes e utilização embalagens ativas. Contudo, estes métodos causam modificações nas propriedades físicas e químicas da carne e, em alguns casos, produz mudanças indesejáveis na cor, sabor e textura. Assim, com o aumento no interesse do consumidor em produtos de matriz alimentar de alta qualidade e livre de aditivos foi estimulado o desenvolvimento de tecnologias de processamentos não-térmicos/ atérmicos como alternativa para processamentos térmicos (CHIEN *et al.*, 2019; PIÑON *et al.*, 2020). Os tratamentos não térmicos apresentam melhorias quanto a manutenção de aspectos físico-químicos, com gastos energéticos reduzidos, estabilidade e vida útil aumentadas (RODRIGUES, 2021).

As tecnologias atérmicas podem ser separadas em tecnologias que são combinadas com calor e tecnologias puramente não térmicas. As tecnologias que são combinadas com calor são a alta pressão, a radiação ultravioleta (UV), a luz pulsada, o ultrassom e o campo elétrico pulsado. As tecnologias puramente atérmicas são o plasma frio e a irradiação. Contudo, é importante mencionar que alguns processos podem gerar energia interna nos alimentos e com isso aquecer, mas são considerados atérmicos por não se aplicar altas temperaturas no processamento, não causando modificações extremas nas características sensoriais e nutricionais do produto de matriz alimentar (RODRIGUES, 2021).

É importante estudar e aplicar essas tecnologias para garantir manutenção de qualidade nutricional e sensorial, bem como a segurança alimentar de produtos cárneos e seus derivados.

O desenvolvimento desse estudo foi motivado pelo interesse em verificar inovações e aplicações de tecnologias de processamento em carnes e produtos cárneos, verificando se estes métodos reduzem a carga microbiana de *Escherichia coli* a níveis seguros. Esta pesquisa em forma de revisão crítico-teórica do estado da arte busca reunir estudos já feitos sobre tecnologias emergentes de processamento de carnes, tecnologias atérmicas, produtos cárneos e combinação de métodos.

2 OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Utilizar embasamento teórico para apresentar o estado da arte das principais tecnologias emergentes e de suas aplicações em carnes e produtos cárneos com intuito de inativar e/ou eliminar a bactéria *Escherichia coli*.

2.2. Objetivos Específicos

- a) Estudar as características das tecnologias emergentes;
- b) Verificar a resposta adaptativa da *Escherichia coli* nas tecnologias emergentes;
- c) Promover embasamento científico acerca da temática, estimulando o interesse pelo desenvolvimento de novos estudos sobre tecnologias atérmicas de processamento de carnes e produtos cárneos para inativação de patógenos de origem alimentar.

3. METODOLOGIA

Foram reunidos estudos atuais considerados relevantes para o tema proposto, utilizando para busca – e posterior filtragem – de pesquisas bibliográficas, palavras-chave como produtos cárneos, contaminação alimentar, *Escherichia coli*, tecnologias emergentes de processamento de produtos cárneos e tecnologias não térmicas. A revisão bibliográfica foi realizada por consulta em fontes como artigos, periódicos científicos, livros, teses, dissertações e resumos publicados em congresso sobre o tema, explorando os conteúdos já produzidos.

Para realização do estudo foram seguidas as etapas abaixo:

1. Escolha e definição das tecnologias emergentes estudadas.

2. Pesquisa bibliográfica - realizou-se buscas utilizando o portal de periódicos da CAPES, possibilitando acesso a livros, artigos e periódicos. Como também, os repositórios institucionais que disponibilizam monografias, teses e dissertações defendidas nas diferentes instituições e o banco de dados do Scielo, BDTD e Scopus. Além disso, utilizou-se o Google Acadêmico por ser uma ferramenta simples de pesquisa que permite acessar trabalhos acadêmicos, revistas científicas, jornais de universidades e artigos variados de forma gratuita.

3. Seleção das informações - Dentre os critérios de inclusão, utilizou-se estudos disponíveis na íntegra, em português ou inglês. Foram incluídas pesquisas experimentais, descritivas ou exploratórias publicadas nos últimos 7 anos, até agosto de 2022. A coleta de dados seguiu as seguintes etapas:

a) Leitura exploratória de todo material pesquisado, buscando identificar os assuntos de interesse da revisão.

b) Leitura seletiva realizada através da leitura aprofundada dos estudos com objetivo de selecionar as considerações mais relevantes de cada autor nos últimos anos.

c) Registro das informações de cada artigo/trabalho sobre resultados obtidos e sobre a influência de algumas variáveis sobre esse processo, além de suas aplicações e inovações.

4. Análise e interpretação dos estudos - Nesta etapa realizar-se-á a leitura crítica dos estudos com a finalidade de ordenar e resumir as informações contidas nas fontes, de forma a obter resultados relevantes para a presente pesquisa.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Contaminação Alimentar

O bem-estar dos seres humanos e o crescimento da empresa estão ligados à segurança alimentar. A história da humanidade será para sempre marcada pelo atual cenário da pandemia global de COVID-19. Atrelado a isto, a indústria de alimentos sofreu mudanças devido as novas exigências do consumidor por maiores garantias de qualidade e inocuidade de alimentos. Dessa forma, novos protocolos ainda mais seguros estão sendo adotados na fabricação de alimentos para que as indústrias mantenham sua competição no mercado (MONTEIRO; MALTA, 2020).

Conhecidas pela sigla DVA, as doenças veiculadas por alimentos ocorrem após a ingestão de alimentos e/ou água contaminada por patógenos como as bactérias, vírus, fungos, protozoários e pela ingestão de metais pesados, agrotóxicos e produtos químicos. As DVAs podem gerar infecções, toxinose e toxiconfecções alimentares caracterizados por surto ou casos isolados (COSTA, 2022; FERIGOLO, 2019). As contaminações em alimentos podem ocorrer através da falta de controle higiênico-sanitário durante o abate, transporte, estocagem nos estabelecimentos de comercialização, tempo/temperatura aplicados e higienização de equipamentos e colaboradores (SOUZA *et al.*, 2020).

As toxinfecções são relacionadas, em muitos países, a problemas econômicos e de saúde pública. Seu aumento pelo mundo está relacionado, dentre muitos fatores, as mudanças globais, climáticas, aumento da pobreza, crescimento acelerado da população, grupos populacionais vulneráveis e exportação de alimentos (FERIGOLO, 2019).

Dentre as matrizes alimentares, os alimentos perecíveis de origem animal causam maior impacto econômico, devido aos cuidados na aquisição e processamento. São produtos facilmente contaminados e/ou deteriorados por microrganismos variados, principalmente se ocorrer falta das boas práticas de fabricação e conservação. A fácil contaminação de produtos cárneos é explicada devido as características intrínsecas da carne. O alimento apresenta elevada atividade de água, pH próximo à neutralidade, alto teor de nutrientes, tornando-o altamente suscetível ao crescimento de microrganismos. Diarreias são frequentes em indivíduos que fizeram ingesta de carne crua ou mal cozida, ovos, produtos frescos e laticínios contaminados. Esse sintoma é causado, geralmente,

por microrganismos como o norovírus, *Salmonella* não tifoide e *Escherichia coli* patogênica (FERIGOLO, 2019; SOUZA *et al.*, 2020).

Por serem um dos principais veículos de agentes transmissores de doenças, os alimentos devem ser processados adequadamente para inativação de microrganismos patogênicos a níveis que não representem perigo a saúde humana. Garantir o controle de qualidade dos alimentos processados é imprescindível, assegurando a seleção da matéria-prima, transporte, manipulação e armazenamento de forma segura e em condições adequadas, evitando a multiplicação de microrganismos causadores de DVA (FERIGOLO, 2019).

No Brasil os principais causadores das doenças veiculadas por alimentos são: *Salmonella*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, Rotavírus e Norovírus. Cada microrganismo possui um tempo de incubação para que comece a apresentar sinais, no entanto costuma variar de 1-2 dias a no máximo 7 dias para apresentar sintomas após a infecção (Ministério da Saúde, 2019).

4.2 *Escherichia coli*

Dentre os microrganismos causadores de toxinfecções alimentares destacam-se *Salmonella* e *Escherichia coli*, que são as bactérias gram-negativas mais importantes e comuns entre os patógenos responsáveis por DVAs em produtos de origem animal (GONZÁLEZ-GONZÁLEZ *et al.*, 2021).

A bactéria *E. coli* faz parte da microbiota intestinal de mamíferos e é considerada como o microrganismo anaeróbio facultativo predominante da microbiota intestinal humana, porém pode ser encontrada, com menor frequência, na microbiota intestinal de pássaros, répteis, peixes e também no solo, água, plantas e alimentos (COSTA, 2022). Os alimentos como carnes *in natura*, de qualquer espécie animal (bovina, suína, carnes de caça, aves e exóticas) podem conter e veicular *E. coli*. Assim, é importante ter atenção especial sobre esta bactéria, pois está diretamente ligada a doenças veiculadas por alimentos (FERIGOLO, 2019).

A bactéria *E. coli* foi considerada, durante muito tempo, como um habitante comensal da microbiota entérica de mamíferos e aves. Contudo, após o reconhecimento de várias patologias entéricas e extra-intestinais causadas por vários sorotipos de *E. coli*,

esta deixou de ser considerada apenas como habitante comensal do trato gastrointestinal mas também como agente bacteriano causador de toxinfecções. Sua contaminação ocorre pelo contato direto com animais ou humanos infectados ou pelo consumo de alimentos contaminados (SOUZA *et al.*, 2020).

É a principal espécie dos coliformes termotolerantes, considerada um indicador de contaminação fecal, associadas a presença de patógenos entéricos em carnes.

Escherichia coli é uma bactéria gram-negativa, anaeróbica facultativa, em formato de bacilos, não esporulados, mesófilos com temperatura ótima para crescimento entre 35 e 37 °C, podendo se locomover devido a presença de flagelos peritríqueos e faz parte da família *Enterobacteriaceae*. A bactéria obtém energia pelo processo de respiração aeróbia e anaeróbia e também por fermentação, fermentando diversos açúcares como sorbitol, xilose, glicose, maltose, manose, manitol e arabinose, produzindo ácido e gás (FERIGOLO, 2019; SOUZA *et al.*, 2020).

Existem vários tipos de patotipos de *E. coli* que estão associados as toxinfecções alimentares, sendo conhecidos como *E. coli* enteropatogênica (EPEC); *E. coli* enterotoxigênica (ETEC); *E. coli* enteroinvasiva (EIEC); *E. coli* enterohemorrágica (EHEC) e *E. coli* enteroagregativa (EaggEC). Pode-se destacar também *E. coli* patogênica extraintestinal (ExPEC) está envolvida em várias doenças humanas e animais, incluindo doença inflamatória intestinal, sepse, infecções do trato urinário (ITU), meningite neonatal, colite ulcerativa e colibacilose aviária (PAULA ROSSI *et al.*, 2021).

O patotipo de *E. coli* que causa graves enfermidades é o enterohemorrágico produtor de toxina shiga, dando-se destaque ao sorovar O157:H7, que pode causar diarreia sanguinolenta, colite hemorrágica, chegando até em síndrome hemolítica urêmica (FERIGOLO, 2019). *E. coli* produtor de toxina shiga (STEC) está envolvido em vários surtos de doenças humanas. Enquanto a maioria dos isolados de *E. coli* são inofensivos, as STEC são contaminantes comuns em carnes de frango e carne moída.

4.3. Processamento de produtos cárneos: tecnologias emergentes

Segundo a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD), a perspectiva global do mercado de carnes se caracteriza pela estabilidade do consumo em países desenvolvidos alinhada com as tendências de produção e consumo de países emergentes. Contudo, com o aumento de surtos de doenças animais, padrões

comerciais e de higienização foram alterados. Com isso, países exportadores, comprovadamente, livres dessas doenças estão aumentando suas participações no mercado de carnes e seus derivados, afetando à oferta e à demanda dos grandes países detentores da estabilidade comercial deste mercado (OECD-FAO, 2017).

A carne e os produtos cárneos, devido a riqueza em nutrientes essenciais e alta atividade de água, são muito propensos à contaminação e crescimento microbiano ao longo de toda sua cadeia produtiva, por terem os fatores formadores de ambiente favorável para crescimento microbiano. Contudo, os processos tradicionais de descontaminação de carnes e produtos cárneos reduzem a qualidade sensorial e físico-química pelo uso de altas temperaturas. As principais alterações negativas causadas são perda de textura, oxidação lipídica e formação de compostos indesejáveis (hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, aminas heterocíclicas e compostos nitrosos) (CHIEN *et al.*, 2019; RODRIGUES, 2021).

Segundo Ferigolo (2019), a carne crua deve ser manuseada com segurança para evitar contaminação, mas também deve-se atentar às etapas como abate e subsequente processamento de produtos cárneos, para conferir segurança alimentar ao público consumidor. Essas etapas devem ser consideradas ao avaliar a contaminação pois pesquisas anteriores relataram que patógenos podem sobreviver aos melhores esforços durante a cadeia produtiva, podendo causar doenças transmitidas por alimentos aos consumidores, se o processamento antes do consumo não for adequado.

Os métodos mais comuns para prevenir o crescimento de microrganismos em carnes são a aplicação de calor, desidratação, resfriamento, congelamento, reduzindo atividade de água e pH, adição de conservantes e aplicando embalagens ativas. Contudo, estes métodos causam modificações nas propriedades físicas e químicas da carne e, em alguns casos, produz mudanças indesejáveis na cor, sabor e textura. Assim, com o aumento no interesse do consumidor em produtos de matriz alimentar de alta qualidade e livre de aditivos foi estimulado o desenvolvimento de tecnologias de processamentos não-térmicos/ atérmicos como alternativa para processamentos térmicos (CHIEN *et al.*, 2019; PIÑON *et al.*, 2020). Os tratamentos não térmicos apresentam melhorias quanto a manutenção de aspectos físico-químicos, com gastos energéticos reduzidos, estabilidade e vida útil aumentadas (RODRIGUES, 2021).

Desta forma, novas técnicas de processamento são desenvolvidas e/ou aperfeiçoadas visando reduzir ou evitar alterações indesejáveis nos alimentos e não agredindo o meio ambiente. A estas técnicas se dá o nome de tecnologias emergentes ou

limpas (NASCIMENTO; SILVA; BARBOSA, 2013). Essas tecnologias podem ser divididas em térmicas e atérmicas (ou não térmicas), que além de garantir segurança alimentar, é mais eficiente na manutenção e proteção de nutrientes e compostos voláteis dos alimentos processados (RIBEIRO; ROCHA; CRUZ, 2021).

As tecnologias atérmicas podem ser separadas em tecnologias que são combinadas com calor e tecnologias puramente não térmicas.

Dentre as tecnologias que são combinadas com calor tem-se a alta pressão, radiação ultravioleta (UV), luz pulsada, ultrassom e o campo elétrico pulsado. As tecnologias puramente atérmicas são o plasma a frio e a irradiação. Contudo, é importante mencionar que alguns processos podem gerar energia interna nos alimentos e com isso aquece-lo, mas são considerados atérmicos por não se aplicar altas temperaturas no processamento, não causando modificações extremas nas características sensoriais e nutricionais do produto de matriz alimentar (RODRIGUES, 2021).

Assim, as tecnologias emergentes são desenvolvidas para intensificar os processos industriais gerando redução de água, químicos, consumo de energia e efluentes, bem como para manter características sensoriais e nutricionais desejadas dos produtos processados por elas. É importante estudar e aplicar essas tecnologias para garantir manutenção de qualidade nutricional e sensorial, bem como a segurança alimentar de produtos cárneos e seus derivados. A seguir serão apresentadas algumas das tecnologias emergentes aplicadas em carnes e derivados. (NASCIMENTO; SILVA; BARBOSA, 2013; PAULA ROSSI *et al.*, 2021; RODRIGUES, 2021).

4.3.1 Plasma a frio

Considerado o quarto estado da matéria após o sólido, líquido e gasoso, o plasma é uma mistura gasosa parcial ou totalmente ionizada. É visualizado como um arco ou descarga de luz fluorescente brilhante e pode ser gerado através de geração de descargas elétricas em gases inertes em temperatura ambiente sob diferentes condições atmosféricas, incluindo variações na pressão. Denomina-se como plasma a frio (cold plasma – CP) aquele gerado em temperaturas brandas entre 30 e 60 °C. Essa faixa de temperatura é economicamente viável devido a menor geração de energia para formação do composto (RODRIGUES, 2021).

O processo consiste na ionização do gás que pode ser argônio, hélio, nitrogênio e ar comprimido. O plasma descarregado no ar gera espécies reativas, como espécies reativas de oxigênio (ROS), de nitrogênio (RNS), radiação UV, íons energéticos e partículas carregadas (AGUIAR *et al.*, 2021; ROYINTARAT *et al.*, 2020) que atuam sobre os microrganismos causando o estresse oxidativo das células que são danificadas pela peroxidação lipídica, inativação enzimática e degradação do DNA.

Esse processamento recebeu atenção na última década como uma tecnologia emergente atérmica para processamento de alimentos. Dentre suas vantagens está a não utilização de temperatura no processo, viabilidade econômica, versatilidade, além de ser uma tecnologia economicamente correta. Ademais, traz melhorias para a qualidade microbiológica, melhoria nas propriedades físico-químicas, fisiológicas e funcionais dos alimentos (AGUIAR *et al.*, 2021).

As variáveis que influenciam na desinfecção microbiana, inativação de enzimas e na qualidade nutricional são a tensão, frequência, tempo de processo, distância entre eletrodos e composição do gás que produz o plasma (RODRIGUES, 2021). Estudos comprovam também que a eficácia do plasma é diretamente ligada com a espessura da parede celular bacteriana em várias espécies (AGUIAR *et al.*, 2021).

O plasma a frio não térmico é considerado melhor para aplicação, por sua composição de elétrons, de temperatura relativamente alta e de partículas de baixas temperatura. Com essas características o plasma é preferível devido à ausência de resíduos tóxicos, baixo consumo de energia, equipamentos simples sem emprego de temperatura durante o processamento. Através da ionização de elétrons é produzida excitação atômica ou molecular, seguida de dissociação e produz estados moleculares radicais e metaestáveis, gerando um meio gasoso ativo, que não provoca danos se utilizado de forma segura (RODRIGUES, 2021).

Esta é uma tecnologia emergente atérmica promissora pelo seu fator de inovação devido sua gama de aplicação, e.g., descontaminação microbiana, inativação enzimática e modificação funcional. O plasma frio vem apresentando promissora atividade antimicrobiana contra bactérias em frutas, hortícolas e produtos cárneos. Os principais gases para criar o plasma frio utilizados em produtos de matriz alimentar são argônio, hélio e ar (RODRIGUES, 2021).

O processamento por plasma frio utiliza moléculas e espécies gasosas reativas para inativar microrganismos contaminantes em alimentos ou embalagens. Pode ser utilizado tanto para alimentos líquidos e sólidos, já que o mecanismo de ação ocorre

após criar um plasma primário, com a inclusão de elétrons e íons em volume de produção, seguido pela formação de íons ou radicais quimicamente ativos. Além disso, o plasma a frio também é aplicável em indústrias de alimentos com a função de pasteurizar e/ou esterilizar (GONZÁLEZ-GONZÁLEZ *et al.*, 2021; RODRIGUES, 2021).

Estudos atuais comprovam que essa tecnologia tem grande capacidade de reduzir carga microbiana patogêna de origem alimentar, destruir micotoxinas, inativar enzimas, provoca modificações em embalagens, protege a concentração de compostos bioativos, trata pesticidas residuais e tem atividade antioxidante (RODRIGUES, 2021).

O plasma a frio já é aplicado em indústrias para descontaminação de produtos cárneos pois é eficaz com diversos microrganismos que formam biofilmes e esporos bacterianos. Essa tecnologia emergente é utilizada para processamento de alimentos em temperaturas moderadas durante período de tempo reduzido. O CP é eficaz contra os principais microrganismos que causam Doenças veiculadas por Alimentos (DVA), como a *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella enterica* e *Listeria monocytogenes*, além de vírus e fungos. Isso ocorre devido às espécies reativas de oxigênio contidas no gás de plasma quase neutro. Para bactérias gram-negativas como a *E. coli*, o envelope celular é o alvo principal das ROS. Essa reação causa ruptura do envelope celular e resulta no vazamento, com possíveis danos em componentes intracelulares (e.g. DNA) (AGUIAR *et al.*, 2021; RODRIGUES, 2021).

Existe também o plasma frio atmosférico (Cold Atmospheric Plasma - CAP) que, através das condições de pressão atmosférica, é capaz de gerar plasma frio em ambiente aberto. Essa tecnologia é a preferida pela indústria de alimentos pelo baixo custo e facilidade de operação, sendo necessário conhecer a composição do fluxo de gás. Isso é preciso pois o gás pode formar espécies reativas devido a alterações em sua composição (GONZÁLEZ-GONZÁLEZ *et al.*, 2021; RODRIGUES, 2021).

CP pode ser gerado por micro-ondas, radiofrequências, mas também por meio de diversos arranjos com entrada de alta tensão, como descarga de barreira dielétrica (DBD), jato de plasma à pressão atmosférica (APPJ), descarga corona (CD) e descarga micro-ondas (MD).

4.3.2 Descarga em barreira dielétrica

Os eletrodos são separados por uma barreira dielétrica isolante responsável pela geração do plasma, onde vários gases de baixo custo, podem ser utilizados. Existem diferentes configurações dessa geração de plasma e também tipos diferentes de descargas que podem ser utilizadas no processo. Porém, é necessário analisar alguns parâmetros como o gás de arraste escolhido e a distância entre os eletrodos. A vantagem deste processo é variedade de gases que podem ser utilizados, baixo fluxo do gás utilizado e adaptabilidade a situações diversas. Ao gerar uma alta tensão entre os eletrodos, as descargas ocorrem entre eles, gerando o plasma frio (RODRIGUES, 2021).

Esse é o processo mais estudado e utilizado em produtos cárneos.

4.3.3 Jato de plasma à pressão atmosférica

Os jatos de plasma são criados através do gás inflamado em tensões de cerca de 100V em dois eletrodos com distância na faixa de milímetros. Com este processo é possível penetrar espaços pequenos em amostras devido as pequenas dimensões, sendo que a média dos elétrons é consideravelmente mais elevada do que a dos íons e moléculas de gás. Esse processo no entanto é utilizado somente em escala laboratorial (RODRIGUES, 2021).

4.3.4 Descarga corona

Identifica-se essa descarga como fios finos em campo elétrico altamente não uniforme. Com a desigualdade do campo elétrico causada pela alta voltagem no eletrodo, o gás neutro na superfície curva do eletrodo é ioniza por indução como consequência da concentração no campo elétrico. Devido a isso, próximo ao eletrodo o campo elétrico excede a força de ruptura do gás, gerando o plasma (RODRIGUES, 2021).

4.3.5 Descarga micro-ondas

Com um magnétron, ondas magnéticas são guiadas para a câmara de processo através de um cabo coaxial. Essas micro-ondas são absorvidas por elétrons que

compõem o gás de arraste ocasionando as reações de ionização e liberação de energia como fótons de luz UV-vis (RODRIGUES, 2021).

Estudos comprovam que a tecnologia de processamento por plasma frio já é aplicada em diferentes espécies de animais para criação de produtos cárneos e que apresenta eficácia na inativação de microrganismos causadores de contaminações e DTA. Alguns dos tipos de carne testados são: porco (CHOI et al., 2016), peito e coxa de frango (DIRKS et al., 2012), presunto (YADAV et al., 2019), pastirma (Gök et al., 2019), frango pronto para consumo (GONZÁLEZ-GONZÁLEZ *et al.*, 2021), carne bovina (JAYSENA et al., 2015). Além disso, alguns estudos comprovaram que o plasma frio aumentou a vida útil de pescados, como filés de peixe seco (PARK; HA, 2015), peixe cavala (ALBERTOS et al., 2017), peixe robalo marinho (OLATUNDE et al., 2019a, 2019d) e camarões (SHIEKH; BENJAKUL, 2020).

Dentre estes trabalhos, os melhores resultados para a redução de *E. coli* foi de González-González et al. (2021) com redução máxima de 1,4 log em 5 minutos, utilizando a tecnologia de descarga direta piezoelétrica com o ar como gás escolhido. Dentre os resultados encontrados, o com pior redução máxima de *E. coli* foi o obtido por Jaysena et al. (2015) apresentando valor de redução de 2,5 log, utilizando a tecnologia de descarga de barreira dielétrica com mistura de N₂ e O₂ como gás de arraste.

Analisando os resultados, é possível discutir em cima de dois pontos, o produto escolhido e a tecnologia utilizada. Quanto ao produto, os resultados de González-González et al. (2021) foi para frango já pronto para o consumo, que já havia passado por algum processo de descontaminação; quanto a tecnologia escolhida, mais estudos devem ser comparados quanto a descarga de barreira dielétrica pois é esta a tecnologia mais utilizada em produtos cárneos para a redução de *E. coli* e foi a que apresentou menor resultado na redução máxima.

Dessa forma, a técnica de plasma frio é uma tecnologia emergente importante por ser eficiente sem o uso da temperatura. Também entre suas vantagens quando comparada com métodos convencionais é possível citar a possibilidade de desinfecção de produtos frescos destinados para consumo cru, menores quantidades de água e sem utilização de temperatura. Contudo, apesar de ser um processo vantajoso, o plasma frio ainda tem suas limitações pois é necessário que sejam avaliados aspectos como as consequências que esse processamento tem na qualidade sensorial do produto e a

legislação sobre o processo deve ser verificada (AGUIAR *et al.*, 2021; RIBEIRO; ROCHA; CRUZ, 2021; RODRIGUES, 2021).

Durante a aplicação do plasma frio ocorre a produção de radicais livres, fornecendo o necessário para que ocorra auto oxidação. Com isso alguns estudos afirmam que apesar da tecnologia reduzir ou inativar a população microbiana a níveis seguros, essa também afeta os compostos bioativos de maneiras negativas, como é o caso da rancidez causada pela oxidação lipídica. Assim, novos estudos devem ser direcionados para a análise da oxidação sobre a qualidade nutricional e sensorial dos produtos finais (AGUIAR *et al.*, 2021; RODRIGUES, 2021).

Além disso, para garantir que a oxidação produzida seja minimizada, outras técnicas podem ser combinadas com o plasma a frio, gerando resultados significativos. Estudos mostraram que combinação de tratamentos de descontaminação, incluindo combinação de intervenções físicas ou tratamento que consiste em intervenções físicas, naturais e biológicas pode ser mais eficaz para eliminação de patógenos quanto comparado com apenas uma técnica. Assim, a tecnologia de plasma a frio tem grande potencial de aplicação em produtos de matriz alimentar e para acelerar sua adoção e futuras aplicações como tecnologia atérmica, novos estudos devem ser realizados para garantir que o plasma a frio além de manter a segurança alimentar, também garante a qualidade nutricional e sensorial do alimento produzido (AGUIAR *et al.*, 2021; GONZÁLEZ-GONZÁLEZ *et al.*, 2021; RIBEIRO; ROCHA; CRUZ, 2021; RODRIGUES, 2021).

4.3.6. Ultrassom

Outra técnica que utiliza faixas baixas de temperatura e é utilizada para inativar bactérias é o ultrassom. Nessa técnica é um valor de frequência ultrassônica entre 20 kHz > 1 MHz é aplicado, podendo ocorrer expansão ou compressão do material e variação de pressão, gerando ruptura celular. Quando utilizado em altas intensidades, o ultrassom causa alterações mecânicas, físicas, químicas ou bioquímicas em matrizes biológicas através do processo chamado cavitação. Com isso, as bolhas produzidas durante a cavitação ocorrem quando a força do ultrassom é alta o suficiente para gerar rarefação que exceda a força da atração intermolecular do meio. Assim, os mecanismos de inativação do ultrassom são a cavitação acústica, ondas de choque micromecânicas,

compressão, rarefação e reações de sono-químicas (BALAMURUGAN *et al.*, 2020; RIBEIRO; ROCHA; CRUZ, 2021; ROYINTARAT *et al.*, 2020).

Na indústria alimentícia, o uso dessa tecnologia visa maximizar a qualidade, reduzir a utilização de compostos químicos e garantir a segurança alimentar. Dentre as vantagens destaca-se o menor consumo de energia, tempo de processamento, rendimento, tecnologia limpa e de fácil uso.

O ultrassom pode ser utilizado para secagem, extração, mudança de propriedade, mudança de estrutura, marinada, congelamento, homogeneização, emulsificação, remoção de gás, inativação de microrganismos e cristalização (BALAMURUGAN *et al.*, 2020; LARANJA, 2021; PIÑON *et al.*, 2020; RIBEIRO; ROCHA; CRUZ, 2021).

Segundo Piñon *et al.* (2020), no alimento líquido, as ondas do ultrassom se propagam em ciclos de compressão e expansão dentro do líquido, criando bolhas, que crescem em tamanho até não ser suficiente para suportarem a pressão externa. Dessa forma, ocorre a implosão dessas bolhas, colidindo com as moléculas do líquido (cavitação), juntamente com o cisalhamento resultante. Essas reações, somadas ao aumento de temperatura e pressão, são responsáveis por romper a estrutura celular e matar a célula microbiana. O colapso assimétrico pode criar um funil fazendo com que o fluxo de fluido ao redor da bolha crie efeitos de cisalhamento, difundindo a radiação ultrassônica através da membrana. Segundo Royintarat *et al.* (2020), é importante entender que as bolhas produzidas pela cavitação do ultrassom podem ter efeitos variados a depender se o sistema se caracteriza como líquido homogêneo, sólido/líquido heterogêneo, etc.

A utilização do ultrassom em produtos cárneos traz os seguintes benefícios: auxilia no amaciamento, acelera a maturação e transferência de massa, diminui a energia de cozimento e aumenta a vida útil através da redução microbiana, garantindo qualidade nutricional e sensorial. Também tem como vantagem a capacidade aumentada de reter água, prevenindo de marinar e perder água em carne fresca (LARANJA, 2021; ROYINTARAT *et al.*, 2020). Segundo Laranja (2021) e Balamurugan *et al.* (2020), a eficácia antimicrobiana depende da frequência, intensidade e duração das ondas de ultrassom, características da matriz alimentar e tipo do microrganismo alvo.

As propriedades mais importantes de produtos cárneos são a textura, pH, retenção de água, estabilidade oxidativa e características sensoriais, com significativo impacto industrial. O amaciamento e redução da força de cisalhamento em produtos cárneos pode ser explicado seja por gerar mudanças microestruturais no tecido ou pelo

aumento da atividade enzimática. O ultrassom é uma tecnologia utilizada para melhorar características bioquímicas e funcionais de carnes e produtos cárneos (ALARCON-ROJO *et al.*, 2019; BALAMURUGAN *et al.*, 2020).

Após o uso do ultrassom, autores observaram uma diminuição de bactérias gram-negativas como a *Salmonella* Anatum, *E. coli*, *Proteus* sp. e *Pseudomonas fluorescens* ou reduziu a população de *Campylobacter* em pele de aves. É esperado que os resultados de redução da carga microbiana sejam melhores para o ultrassom do que para métodos convencionais, já que ambos *E. coli* e *Salmonella* são sensíveis ao ultrassom. Também, a aplicação de ultrassom auxiliou no aumento da permeabilidade do tecido muscular de frango, o que facilitou a entrada do sanificante, conseqüentemente, reduzindo os microrganismos contaminantes. Com isso, autores concluíram que a utilização do ultrassom para redução microbiana é mais eficaz quando combinada com outros métodos físicos (calor ou pressão) e/ou químicos (cloro, ácido láctico, vinho tinto) para inativação (ALARCON-ROJO *et al.*, 2019; BALAMURUGAN *et al.*, 2020; LARANJA, 2021).

Através de testes de distribuição de tamanho de partícula, análise de cor bacteriana e de fluorescência celular, estudos verificaram que o ultrassom forma fragmentos celulares ao destruir a integridade da membrana da *E. coli* O157:H7 e *Bacillus cereus* (ALARCON-ROJO *et al.*, 2019).

No estudo de Royintarat (2020), foi combinado a aplicação de ultrassom com água ativada por plasma para inativação de *E. coli* e *S. aureus* inoculados em músculo, pele áspera e pele lisa de frango. Com a utilização do ultrassom foi possível aumentar a permeabilidade dos tecidos, facilitando a entrada de espécies reativas de oxigênio (ROS) durante a aplicação do plasma. Segundo Balamurugan (2020), é comprovado que o ultrassom não afeta a estrutura primária das proteínas, induzindo alterações na estrutura secundária e rompendo a estrutura terciária e quaternária das proteínas.

Analisando a aplicação dos métodos de maneira combinada e separa, Royintarat (2020) chegou aos resultados de que a combinação de ultrassom e plasma reduziu a contagem de carga microbiana em 1,3 log UFC/ mL de *E. coli* e de 0,83 log UFC/ mL para *S. aureus* enquanto que a aplicação individual do plasma reduziu a contagem de microrganismos em 0,46 log UFC/ mL para *E. coli* e 0,30 log UFC/ mL para *S. aureus*. Assim, o estudo comprovou que o efeito sinérgico da combinação destes dois tratamentos apresentou melhores resultados do que a aplicação individual das técnicas.

Dentre as vantagens de se aplicar o método de ultrassom, podem ser citados: mistura eficiente, rápida transferência de massa e energia, uso reduzido de condições térmicas elevadas e também de grandes equipamentos, início e processamento rápido, alta produção, tecnologia alternativa para modificação de propriedades da carne, pode ajudar a juntar pedaços de carnes e elimina carga microbiana. Contudo entre as desvantagens é possível citar a produção de radicais livres e como consequência a oxidação, e a dificuldade em selecionar parâmetros apropriados que são críticos para obter o produto desejado. Além disso, dentre as limitações desse método, relatos mostram que aspectos como a suculência e coloração de carnes processadas no ultrassom apresentaram rejeição do consumidor (BALAMURUGAN *et al.*, 2020).

Apesar de ser uma técnica vantajosa, novos estudos devem ser realizados com foco principal em garantir a qualidade nutricional e sensorial dos alimentos com segurança alimentar. Além disso, é preciso que o processo de cavitação seja estudado quanto sua reação sobre os compostos bioativos do alimento processado (RIBEIRO; ROCHA; CRUZ, 2021). Outro ponto que deve ser analisado é que apesar das diversas aplicações possíveis, de conseguir ser utilizado para diversos tipos de matrizes, alterando diversas características, o ultrassom é pouco utilizado em escala industrial, por apresentar elevado custo de investimento, legislação deficiente e falta em atingir e entender o que satisfaz o consumidor. Contudo, essa é uma tecnologia com abordagem em evolução e com grande potencial para processamento de matrizes alimentares sem prejudicar a qualidade nutricional e sensorial (BALAMURUGAN *et al.*, 2020).

Combinado com outras tecnologias o ultrassom pode reduzir maior número de microrganismos. Essas tecnologias podem ser tratamentos térmicos, luz UV, óleos essenciais, etc. Isso garante que ocorra a destruição de células vegetativas e que esse efeito permaneça durante armazenamento a frio. Também, o ultrassom pode ser aplicado na linha de produção, reduzindo o tempo de processamento e beneficiando a vida útil, aumentando o tempo de armazenamento e a estabilidade do produto, tornando possível atingir mercados mais distantes (ALARCON-ROJO *et al.*, 2019).

4.3.7 Processamento em alta pressão (HPP)

É um processamento de alimentos atérmico e uma tecnologia segura que vem se tornando atrativa por apresentar resultados positivos para aumento da vida útil quando associado a temperaturas de refrigeração. Pode levar a inativação de microrganismos

contaminantes sem causar efeitos tão negativos na qualidade do alimento enquanto garante a segurança alimentar. O processamento em alta pressão (*High Pressure Processing* – HPP) submete o alimento a altas pressões, geralmente entre 100-1000 Mpa e a temperaturas abaixo de 60 °C. Seu modo de ação sobre os microrganismos é causar danos na membrana celular e estrutura, dissociação do ribossomo, inativação enzimática e dissociação do DNA (CHIEN *et al.*, 2019; PAULA ROSSI *et al.*, 2021; SHEEN *et al.*, 2018).

HPP pode, efetivamente, enquanto inativa microrganismos, manter as características sensoriais e nutricionais, cor, textura e aroma de alguns alimentos, o que é incerto de conseguir com métodos convencionais (CHIEN *et al.*, 2019; SHEEN *et al.*, 2018).

Para aplicação do processamento em carnes, é importante que as proteínas sejam protegidas para garantir que as propriedades funcionais da carne sejam asseguradas. Isso se explica, pois são as proteínas os compostos responsáveis pela cor e textura. O uso do HPP pode afetar essas propriedades funcionais das proteínas. Estudos realizados mostram que as mudanças observadas na carne incluem aumento na luminosidade e queda na coloração avermelhada, típica de produtos frescos. Porém para produtos cárneos curados ou cozidos, esse efeito causado no HPP é irrelevante já que as proteínas já foram desnaturadas (CHIEN *et al.*, 2019).

Escherichia coli é facilmente inativada em frango moído usando HPP em condições que eliminarão a *Salmonella* spp. e *E. coli* (PAULA ROSSI *et al.*, 2021). Essa tecnologia está sendo utilizada em escala industrial porque seus equipamentos estão economicamente e tecnologicamente viáveis. Múltiplos produtos cárneos apresentam patógenos como *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes* e *E. coli* que podem ser facilmente inativados com níveis de pressão entre 400 e 600 Mpa. Além disso, para reduzir a alta pressão aplicada, este método pode ser combinado com antimicrobianos adequados, reduzindo assim os danos causados na qualidade do alimento (BALAMURUGAN *et al.*, 2020; WANG; KONG; JIANG, 2021).

Vários óleos essenciais são estudados para aplicação em produtos alimentícios como aditivos naturais, devido a sua ação antimicrobiana contra bactérias, leveduras e bolores, além de funcionarem como potenciadores da segurança alimentar e extensores da vida útil. Um exemplo destes óleos essenciais é o óleo de canela, que contém cerca de 60% de trans-cinamaldeído, componente reconhecido como seguro pela Food Drug Administration (FDA), que apresenta efeito antimicrobiano. Autores reportaram que o

óleo de canela apresentou efeito inibitório sobre *E. coli*, sendo, nesse trabalho, estimado que os parâmetros escolhidos para funcionamento do HPP e a porcentagem escolhida do componente majoritário trans-cinamaldeído para letalidade máxima de *E. coli* foi 415 Mpa/0,43% trans-cinamaldeído/22 min (SHEEN *et al.*, 2018).

O extrato de erva-cidreira (*Melissa officinalis*) e seus componentes químicos combinados ao HPP demonstraram efetividade na inativação de *E. coli* em carne moída crua. Com a adição de compostos antimicrobianos em doses corretas e com pressão correta definida, é possível que o HPP em combinação com antimicrobianos consiga reduzir significativamente *E. coli* (> 5 log UFCg). De acordo com Chien *et al.* (2019), a combinação entre extrato de erva-cidreira e HPP apresentou resultados positivos significativos na inativação de *E. coli*. Através de imagens obtidas no microscópio de transmissão eletrônica, os autores verificaram a estrutura danificada da célula após o estresse causado pelo HPP e os compostos antimicrobianos.

Dentre as limitações do HPP encontra-se o estresse ambiental que o método pode causar dentro das células bacterianas, gerando estratégias responsivas. Por exemplo, alguns estudos relatam sobre uma lesão subletal após aplicação do HPP, fazendo com que durante o armazenamento essas células bacterianas possam se recuperar devido ao ambiente nutritivo e favorável da carne. Uma possível maneira de contornar essa situação é a adição de outra bactéria que iniba o crescimento de *E. coli*. Contudo, utilizar carga microbianas pode ser complicado e problemático se não for devidamente estudado e aplicado.

Para utilizar efetivamente um antimicrobiano em combinação com o HPP, é necessário estudar como os componentes da matriz alimentar irão interagir devido a sua complexidade. Não existe um padrão específico de aplicação, assim uma investigação cuidadosa deve ser aplicada e testes devem ser feitos para validar a utilização desse método com antimicrobianos, garantindo letalidade de patógenos e a segurança alimentar (SHEEN *et al.*, 2018). Além disso, o HPP também pode ser utilizado para eliminar risco de contaminação em produtos já embalados. Também, produtos alimentícios processados por HPP são melhores recebidos pelos consumidores do que produtos irradiados (WANG; KONG; JIANG, 2021).

5. CONCLUSÃO

Através da revisão bibliográfica realizada foi possível levantar alguns pontos. Primeiramente, verifica-se que as tecnologias emergentes estudadas apresentaram bons resultados para inativação de *Escherichia coli*. Todas as técnicas ainda apresentam desvantagens quanto à carne fresca devido a produção de radicais livres gerando a oxidação lipídica nas carnes e produtos cárneos.

Contudo, autores apresentaram a combinação de métodos como alternativa para redução de efeitos negativos nos produtos de matriz alimentar. A adição de óleos essenciais pode reduzir os parâmetros de aplicação do processamento escolhido, melhorando as características sensoriais e nutricionais dos produtos cárneos. Além disso, alguns estudiosos estão aplicando em outras bactérias pós processamento para que inibição do patógeno em questão, porém essa ideia não é tão segura se não for avaliada minuciosamente.

Assim, é importante que os estudos sobre tecnologias emergentes permaneçam evoluindo e novos testes sejam feitos para garantir qualidade sensorial e nutricional enquanto eliminar os microrganismos patogênicos de origem animal. Também, novas combinações podem ser verificadas para redução do tempo de processamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, Maristela Mendes *et al.* Alta pressão hidrostática, campos elétricos pulsados e plasma frio na cadeia produtiva de alimentos: Princípios e aplicabilidade industrial. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 2, p. e50310212670, 2021.

ALARCON-ROJO, Alma Delia *et al.* Ultrasound and meat quality: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 55, p. 369–382, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.09.016>>.

ALBERTOS, I., *et al.* Effects of dielectric barrier discharge (DBD) generated plasma on microbial reduction and quality parameters of fresh mackerel (*Scomber scombrus*) fillets. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, v. 44, 117 - 122, 2017.

BALAMURUGAN, S. *et al.* High pressure processing during drying of fermented sausages can enhance safety and reduce time required to produce a dry fermented product. *Food Control*, v. 113, n. March, p. 107224, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107224>>.

CHIEN, Shih Yung *et al.* Combination Effect of High-Pressure Processing and Essential Oil (*Melissa officinalis* Extracts) or Their Constituents for the Inactivation of *Escherichia coli* in Ground Beef. *Food and Bioprocess Technology*, v. 12, n. 3, p. 359–370, 2019.

CHOI, S.; PULIGUNDLA, P.; MOK, C. Microbial decontamination of dried Alaska pollock shreds using corona discharge plasma jet: Effects on physicochemical and sensory characteristics. *Journal of Food Science*, v. 81, 2016.

COSTA, Letícia Roberta Martins. *Influence of animal production systems on the presence of pathogenic strains of Escherichia coli in the beef production chain*. 2022. 1–82 f. Universidade Estadual Paulista, 2022. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/216832>>.

DIRKS, B. P. *et al.* Treatment of raw poultry with nonthermal dielectric barrier discharge plasma to reduce campylobacter jejuni and Salmonella enterica. *Journal of Food Protection*, v.75, p. 22–28, 2012.

FERIGOLO, Larissa Pires. *Survival of Escherichia coli on bovine meat thermally treated by Sous vide system*. 2019. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Ciências Básicas da Saúde. Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agrícola e do Ambiente., 2019. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/210521>>.

GÖK, V., *et al.* The effects of atmospheric cold plasma on inactivation of *Listeria monocytogenes* and *Staphylococcus aureus* and some quality characteristics of pastirma—A dry-cured beef product. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, v. 56, 2019.

GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, Cid R. *et al.* The effect of cold atmospheric plasma and linalool nanoemulsions against *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* on ready-to-eat chicken meat. *Lwt*, v. 149, n. June, 2021.

JAYASENA, D.D., et al. Flexible thin-layer dielectric barrier discharge plasma treatment of pork butt and beef loin: effects on pathogens inactivation and meat quality attributes. *Food Microbiology*, v. 46, p. 51 – 57, 2015.

LARANJA, Daniela Comparsi. *DESCONTAMINAÇÃO DE CARÇAÇAS DE FRANGO POR ÁCIDO PERACÉTICO ISOLADO OU EM COMBINAÇÃO COM OUTROS ANTIMICROBIANOS*. 2021. 6 f. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, 2021.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Doenças transmitidas por alimentos: causas, sintomas, tratamento e prevenção. (2019). Disponível em: <http://www.saude.gov.br/saude-dea-z/doencas-transmitidas-por-alimentos>. Acesso em: 25 agosto 2019.

MONTEIRO, Aldair da Costa; MALTA, Luciana Gomes. PROTOCOLO DE INSPEÇÃO AO COVID-19 PARA INDÚSTRIAS ALIMENTÍCIAS. p. 145–159, 2020.

NASCIMENTO, Kamila de Oliveira Do; SILVA, Cláudia Pires Da; BARBOSA, Maria Ivone Martins Jacintho. UTILIZAÇÃO DA ALTA PRESSÃO HIDROSTÁTICA COMO UMA TECNOLOGIA EMERGENTE NO PROCESSAMENTO DE ALIMENTOS. v. 1, p. 63–70, 2013. Disponível em: <<https://periodicos.ifma.edu.br/actatecnologica/article/view/104>>.

OECD-FAO. (2017). OECD-FAO Agricultural Outlook 2007-2016 ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. Paris. Disponível em: <https://www.oecd.org/tad/agricultural-trade/38893266.pdf>. Acesso em: 22 setembro 2019.

OLATUNDE, O. O.; BENJAKUL, S.; VONGKAMJAN, K. Combined effects of high voltage cold atmospheric plasma and antioxidants on the qualities and shelf-life of Asian sea bass slices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, v.54, p.113–122, 2019^a.

OLATUNDE, O. O.; BENJAKUL, S.; VONGKAMJAN, K. High voltage cold atmospheric plasma: Antibacterial properties and its effect on quality of Asian sea bass slices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, v.52, p.305–312, 2019^b.

PAULA ROSSI, Ana *et al.* Effect of ultrasound and chlorine dioxide on Salmonella Typhimurium and Escherichia coli inactivation in poultry chiller tank water. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 80, p. 105815, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105815>>.

PARK, S. Y.; HA, S. D. Application of cold oxygen plasma for the reduction of Cladosporium cladosporioides and Penicillium citrinum on the surface of dried filefish (Stephanolepis cirrhifer) fillets. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 50(4), p. 966 - 973, 2015.

PIÑON, M. I. *et al.* Microbiological properties of poultry breast meat treated with high-intensity ultrasound. *Ultrasonics*, v. 102, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ultras.2018.01.001>>.

RIBEIRO, Nathalia; ROCHA, Ramon Silva; CRUZ, Adriano Gomes Da. TECNOLOGIAS EMERGENTES APLICADAS NA AMÉRICA LATINA. v. 2, p. 23–37, 2021.

RODRIGUES, Isabela Silva. *Aplicação de plasma frio na produção de carnes e derivados: uma revisão*. 2021. 2021. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/33972/1/AplicaçãoPlasmaFrio.pdf>>.

ROYINTARAT, Tanitta *et al.* 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, n. 1, p. 1–14, 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/s41598-020-58199-w>>.

SHEEN, Shiowshuh *et al.* Lethality Prediction for Escherichia Coli O157:H7 and Uropathogenic E. coli in Ground Chicken Treated with High Pressure Processing and Trans-Cinnamaldehyde. *Journal of Food Science*, v. 83, n. 3, p. 740–749, 2018.

SOUZA, Larissa Amando *et al.* Atividade antimicrobiana de óleo de alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.) em carnes inoculadas com Escherichia coli. *Brazilian Applied Science Review*, v. 4, n. 2, p. 592–605, 2020.

WANG, Longfeng; KONG, Xiaoxue; JIANG, Yun. Recovery of high pressure processing (HPP) induced injured Escherichia coli O157:H7 inhibited by *Lactobacillus sakei* on vacuum-packed ground beef. *Food Bioscience*, v. 41, n. February, p. 100928, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.100928>>.

YADAV, B., et al. Cold plasma treatment of ready-to-eat ham: Influence of process conditions and storage on inactivation of *Listeria innocua*. *Food Research International*, v. 123, 2019.