

Potencialidades da tecnologia do plasma na conservação de alimentos: uma revisão

RESUMO

Jovilma Maria Soares de Medeiros
jovilmasoares@outlook.com
<http://orcid.org/0000-0001-6774-8433>
Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil.

Karoline Mikaelle de Paiva Soares
karolinesoares@ufersa.edu.br
<http://orcid.org/0000-0003-1578-3733>
Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil.

Francisca Pereira de Moraes
franciscapereira.moraes@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0002-2942-2384>
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Rio Grande do Norte, Campus
Currais Novos, Currais Novos, Rio Grande
do Norte, Brasil.

Uma das grandes preocupações da indústria alimentícia é a conservação dos alimentos e o aumento da sua vida útil. Dentre os métodos inovadores de conservação, o uso do plasma apresenta vantagens em relação a métodos convencionais, por não gerar resíduos que permaneçam nos produtos aos quais é aplicado. Os estudos realizados são majoritariamente com carnes e produtos cárneos, demonstrando eficácia dessa tecnologia sobre diversos microrganismos, incluindo os de importância em saúde pública, como *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* e *Salmonella* sp., caracterizando tal método como uma ferramenta promissora na área de alimentos. Nesse contexto, esta revisão fornece uma visão geral sobre a utilização do plasma como método de conservação de alimentos, objetivando discussão acerca dessa temática.

PALAVRAS-CHAVE: microrganismos; vida de prateleira; qualidade.

INTRODUÇÃO

Os alimentos usados para consumo são produtos com variadas combinações de nutrientes, que apesar de suprirem as necessidades nutricionais de quem os consome, torna os alimentos altamente perecíveis. Além do teor nutricional, o pH favorável e a elevada atividade de água tornam os alimentos meios propícios ao desenvolvimento microbiano, este quando atinge níveis elevados, provoca mudanças sensoriais nos alimentos e os tornam impróprios para o consumo humano (ORDÓÑEZ, 2005).

Visando minimizar as alterações alimentares diversos métodos de conservação vêm sendo desenvolvidos e empregados nos alimentos para aumento do seu potencial de conservação e, conseqüentemente, sua vida útil. Entre os métodos tradicionais de conservação, destacam-se a conservação pelo frio e calor, desidratação, fermentação e salga (GAVA; SILVA; FRIAS, 2009; FORSYTHE, 2013; FELLOWS, 2006). Mais recentemente, surgiram outras tecnologias mais modernas de conservação, como o uso de altas pressões, radiação ionizante e ozônio (NOVAES et al., 2012). Contudo, esses métodos podem ocasionar algumas alterações nutricionais e organolépticas nos alimentos (REINEKE et al., 2015).

Diante desse cenário, o surgimento do plasma se destacou como tecnologia promissora, apresentando a característica de aumentar a vida útil, sem ocasionar prejuízos intensos nas características sensoriais dos produtos alimentícios (REINEKE et al., 2015), podendo contribuir com a segurança dos alimentos (MACHALA; HENSEL; AKISHEV, 2012). Essa tecnologia de conservação emergente tem se mostrado efetiva, principalmente na sua utilização a frio, na descontaminação de alimentos, embalagens, superfícies de equipamentos e biofilmes, provocando mudanças mínimas nos alimentos, sendo considerada segura, confiável e ecológica. Em face dos diversos métodos possíveis de serem utilizados e das características específicas dos alimentos, é necessário estabelecer parâmetros que sejam adequados ao tipo de alimento (MANDAL; SINGH; SINGH, 2018).

O plasma em termos gerais pode ser definido como um gás neutro ionizado composto por partículas que estão em constante interação. Entre essas partículas ativas estão íons positivos e negativos, elétrons, radicais livres e moléculas em estado ou não de excitação. Durante o procedimento em si um gás inerte ao atravessar um campo elétrico tem seus elétrons ionizados por interação e esse processo gera os compostos capazes de atuar na conservação do alimento (SCHLÜTER et al., 2013). Dessa forma as espécies de oxigênio originadas do processo reagem com os contaminantes provocando modificações nos mesmos e levando a uma remoção ou alteração desses constituintes (PANKAJ et al., 2014).

Frente à crescente discussão sobre métodos de conservação que apresentem eficiência e mantenham as características originais dos produtos, o plasma surge como alternativa tecnológica que pode suprir essas necessidades, no entanto o estudo dessa tecnologia é recente e deve ser aprofundado. Assim, o objetivo do trabalho foi realizar uma revisão na literatura sobre a utilização do plasma na conservação de alimentos, enfatizando as aplicações atuais desse método e os resultados encontrados.

MICROORGANISMOS RELACIONADOS AOS ALIMENTOS

A inocuidade dos alimentos deve ser garantida a população, portanto, todos devem ter ao seu alcance alimentos seguros, do ponto de vista nutricional e higiênico-sanitário. Dentro desta perspectiva a qualidade sanitária dos alimentos atenta tanto para a preocupação com a saúde do consumidor, que ao ingerir um alimento contaminado pode desenvolver uma doença de origem alimentar (CASTRO et al., 2012), quanto para a qualidade sensorial do produto, uma vez que a deterioração dos alimentos por microrganismos pode ocasionar alterações nas características físicas, químicas e sensoriais, que conseqüentemente irão interferir na cor, odor, textura e aspecto geral do produto (ALCANTARA; MORAIS; SOUZA, 2012). Existem três importantes grupos de microrganismos que interagem com os alimentos provocando alterações em suas características e na sua qualidade: indicadores, deteriorantes e patógenos (FRANCO; LANDGRAF, 2008).

Os microrganismos indicadores refletem as condições higiênico-sanitárias dos alimentos, ou seja: a possível presença de outros microrganismos, condições impróprias de fabricação durante o processamento e condições de comercialização. Um dos principais grupos microbianos utilizados como indicadores de qualidade higiênico-sanitária são coliformes (PIETROWSKI et al., 2008). Esse grupo é formado pelos gêneros *Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter* e *Citrobacter*, sendo conhecidos como coliformes totais. Desse total, aqueles capazes de fermentar a lactose em meio *Escherichia coli* (EC), com produção de gás a 45,5°C em 48 horas são designados como coliformes termotolerantes, cujo principal representante é a bactéria *Escherichia coli* (FORSYTHE, 2013).

Os deteriorantes utilizam o alimento como substrato para realização de suas atividades metabólicas, ocasionando a formação de metabólitos que alteram os alimentos (JAY, 2005), como é o caso das bactérias psicrotróficas, formadoras ou não de esporos, que apesar de apresentarem crescimento lento, podem produzir enzimas que provocam rápidas alterações nos alimentos. A contaminação por psicrotróficos gera perdas econômicas e ocasionam problemas tecnológicos para a indústria, principalmente porque as enzimas proteolíticas e lipolíticas, formadas pelas bactérias, ocasionam alterações nos alimentos, provocando perda da qualidade (ZENI et al., 2013).

O desenvolvimento de microrganismos deteriorantes nos alimentos é regido por fatores que interferem no crescimento e nos tipos de microrganismos predominantes. Esses fatores podem estar relacionados ao próprio alimento ou ao ambiente que o circunda. Dependendo do conjunto de fatores intrínsecos ou extrínsecos relacionados a esses alimentos, pode haver uma maior ou menor susceptibilidade à deterioração microbiana (MASSAGUER, 2005; JAY, 2005)

Os microrganismos patogênicos se destacam por serem causadores de doenças de origem alimentar, apresentando importância do ponto de vista de saúde pública. Embora patologias possam ser causadas por diversos grupos de patógenos alimentares, como bactérias, fungos e vírus; as bactérias são os principais agentes causadores de toxinfecções alimentares, com destaque para as seguintes bactérias patogênicas: *Salmonella* sp.; *Staphylococcus aureus*; *Campylobacter jejuni*; *Escherichia coli*; *Listeria monocytogenes*; *Shigella*; *Clostridium perfringens* e *Clostridium botulinum* (CAMPBELL-PLATT, 2015; FIB, 2015).

Alguns desses patógenos têm capacidade de produzir enterotoxinas, responsáveis pelas patologias de origem alimentar mais graves no ser humano. A bactéria *Salmonella* sp. é responsável por casos de gastroenterite e a sua presença torna o alimento impróprio para consumo (SANTANA et al., 2008).

A contaminação de alimentos se apresenta como um entrave para a indústria de alimentos, sendo a produção segura um dos desafios atuais. O conceito de segurança alimentar, antes direcionado apenas a inocuidade do produto, hoje permeia outros atributos que direcionam a escolha do consumidor em comprar e consumir determinado alimento (SILVA et al., 2017). Diante dessa realidade, as indústrias e institutos de pesquisa estão engajados em descobrir métodos de conservação que garantam a qualidade e segurança dos alimentos, proporcionando assim competitividade no setor e garantia dos seus produtos (ROSSI; BAMPI, 2015).

O PLASMA: PRINCÍPIO E MECANISMOS DE AÇÃO

O plasma é chamado o quarto estado da matéria, depois do líquido, sólido e gasoso. Em sua definição mais ampla, é um gás parcialmente ionizado, que em sua composição final contem elétrons, íons, átomos e radicais livres (MANDAL; SINGH; SINGH, 2018; CRUZ et al., 2017). Estes compostos são gerados por interação dos constituintes do gás e são os responsáveis pelo efeito antimicrobiano que o plasma apresenta (Fig. 1). Vários microrganismos já foram estudados e nestes foi demonstrada a ação bactericida ou bacteriostática do plasma, sobre *E. coli* e *Salmonella* spp. em sementes de colza (PULIGUNDLA; KIM; MOK, 2017), como também em micotoxinas, sendo observado que a utilização do plasma como método alternativo se mostrou mais eficaz que os métodos convencionais, como tratamentos térmicos e descascamento de sementes, sendo considerado mais favorável do ponto de vista ecológico (HOJNIK et al., 2017).

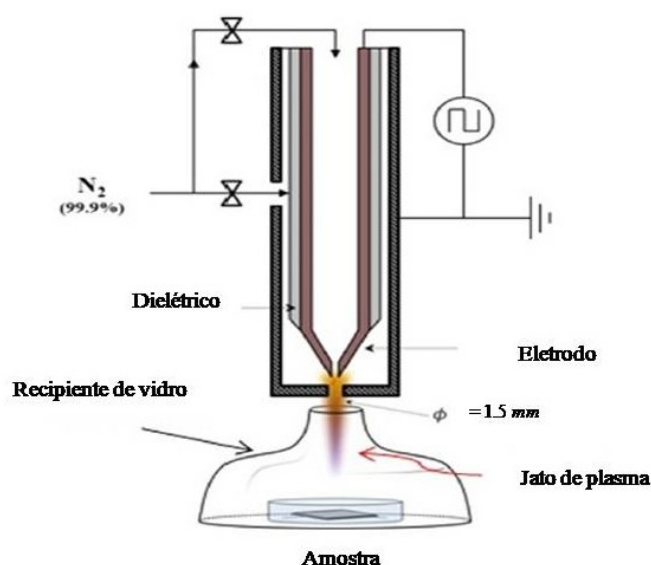


Figura 1. Diagrama esquemático de geração do plasma a pressão atmosférica (Bae et al., 2015).

O mecanismo de ação das várias formas de utilização do plasma ainda vem sendo estudado, no entanto é conhecido que as espécies reativas, originadas da excitação das moléculas do gás, interagem com as macromoléculas (proteínas, lipídios, ácidos nucleicos) das células microbianas, causando mudanças nas estruturas dessas macromoléculas levando a morte ou lesão celular do microrganismo. Além disso, algumas partículas originadas da excitação do gás se acumulam na superfície da membrana do microrganismo e levam a ruptura da célula, conseguindo também alcançar o DNA, levando a modificações que inviabilizam a sobrevivência do microrganismo (SMET et al., 2016).

FORMAS DE APLICAÇÃO DO PLASMA

De acordo com o grau de ionização o plasma pode ser classificado em duas categorias. Quando o plasma está totalmente ionizado recebe a denominação de “plasma térmico” ou “quente”. Se o grau de ionização for baixo, recebe o nome de “plasma não térmico” ou “frio” (CRUZ et al., 2017). O plasma térmico pode ser gerado por acoplamento indutivo de campos de alta frequência, por acoplamento de micro-ondas ou por acoplamento de descarga de arco. A forma não térmica, geralmente usa descarga de arco de baixa pressão, descarga de barreira dielétrica (DBD), tubos de ozônio e jatos de plasma. A forma fria é a mais utilizada em alimentos e pode ser aplicada de forma direta, semidireta e indireta. Na forma direta o plasma é aplicado diretamente sobre o substrato (como jatos de plasma e DBD), na semidireta a distância entre plasma e substrato é maior e o efeito antimicrobiano acontece por irradiação e na forma indireta o plasma é aplicado com irradiação com luz UV, sendo usado para gás e líquido. O método não térmico apresenta algumas vantagens, como impacto reduzido sobre a matriz do alimento, aplicação em água e outros solventes, a não geração de resíduos e sua possibilidade de aplicação direta em superfícies (SCHLÜTER et al., 2013).

MÉTODOS TÉRMICOS

A geração de plasma térmico tem como característica o equilíbrio térmico, mecânico, radiativo e químico das partículas envolvidas no processo (elétrons, íons e partículas neutras). São obtidos a pressões e potência altas ($\geq 10^5$ Pa e até 50 MW, respectivamente). Esse tipo de plasma geralmente é aplicado de forma indireta sobre o alimento, permitindo controle da temperatura desejada (SCHLÜTER et al., 2013; CRUZ et al., 2017).

O plasma térmico é caracterizado por apresentar alta densidade de energia e semelhança entre as temperaturas de elétrons e partículas. Nesse tipo de plasma, há um transporte mais eficiente de calor pelos elétrons, através de condutividade térmica, variando de acordo com a temperatura aplicada. As formas mais comuns de aplicação desse plasma são destruição de resíduos tóxicos, pulverização do plasma para revestimento e aplicação industrial na metalurgia extrativista. Apesar da versatilidade de utilização do plasma térmico, no campo industrial sua utilização encontra barreiras em virtude do maior consumo de energia elétrica que o torna inviável comercialmente (SAMAL, 2017).

Uma das formas de utilização é através de acoplamento de descarga de arco, onde a corrente geradora do plasma passa entre dois eletrodos através do gás ionizado. Outra forma é o acoplamento indutivo de campo de alta frequência, onde o plasma é gerado dentro de um campo eletromagnético, produzido por uma bobina de indução, e o gás do plasma não entra em contato com os eletrodos. Nesse tipo de plasma podem ser usados diversos tipos de gases, como redutores, oxidantes e inertes (SAMAL, 2017).

MÉTODOS NÃO TÉRMICOS

O plasma a frio, como mencionado, é o método mais utilizado em alimentos e pode ser gerado de várias formas. Uma das formas mais comuns é a utilização dos jatos de plasma. Nessa configuração utiliza-se um gás (como argônio, hélio ou ar) que atravessa um meio onde está presente um campo elétrico com diferença de alta tensão. Essa diferença é que proporciona a interação entre as partículas (elétrons e moléculas do gás), levando a ionização do gás e geração de produtos reativos (REINEKE et al., 2015). A utilização de jatos de plasma a pressão atmosférica, com argônio e radiação UV-C, demonstrou efeito antimicrobiano sobre cepas selvagens e mutantes de *Escherichia coli*, sendo mais eficientes que jatos de plasma com gás hélio, descarga de barreira dielétrica e descarga de corona (JUDÉE et al., 2014).

Outra forma comum de aplicação do plasma a frio é a descarga de barreira dielétrica. Neste método, o plasma é gerado por uma corrente alternada entre dois eletrodos, onde pelo menos um deles está coberto com uma camada dielétrica, que pode ser plástico, quartzo ou cerâmica. Esta camada limita a corrente e distribui aleatoriamente na superfície do eletrodo. Este método apresenta como principais vantagens a sua relativa simplicidade, além da possibilidade de emprego de diferentes gases (EZEKIE; SUN; CHENG, 2017; WAN et al., 2017).

Outro método menos usado é a descarga de corona, onde o jato é produzido separando moléculas de elétrons devido à alta tensão entre dois eletrodos, sendo assim a descarga é proveniente da ionização de um fluido nas proximidades de um condutor, originando brilho luminoso. Essas descargas de corona apresentam grande efeito bactericida e bacteriostático sobre diversos microrganismos, sendo considerada uma técnica simples e de fácil implementação (EKEZIE et al., 2017; PULIGUNDLA; KIM; MOK, 2017).

POTENCIALIDADES DO PLASMA NA CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS

Diante de uma tecnologia promissora e recente, muitos pesquisadores vêm empenhando esforços no estudo das mais variadas formas de aplicação do plasma sobre diversos tipos de alimentos. As tabelas 1 e 2 sintetizam os trabalhos atuais que foram desenvolvidos sobre a aplicação do plasma em alimentos de origem animal e vegetal, respectivamente.

Tabela 1. Síntese dos artigos pesquisados sobre utilização do plasma e seu efeito antimicrobiano em alimentos de origem animal.

Tipo de alimento	Método utilizado	Potencial antimicrobiano	Referência
Carnes bovina, suína e de frango	Jatos de plasma a frio, a uma frequência de 28,5 kHz, sob pressão atmosférica, durante 5 e 20 minutos de exposição	Redução de até 2 log partículas virais do norovírus murino e vírus da hepatite A.	Bae <i>et al.</i> , 2015
Cortes de carne suínos	Jatos de plasma a frio sob baixa pressão (20 kPa), durante 2 a 10 minutos de exposição	Redução de mais de 1 log de leveduras, bolores e microrganismos psicrotróficos e de 2 log para <i>Escherichia coli</i> e <i>Yersinia enterocolitica</i> .	Ulbin-Figlewicz, Jarmoluk e Marycz, 2015
Carne suína e lombo bovino	Descarga de barreira dielétrica, a uma frequência de 15 kHz, durante 10 minutos de exposição	Redução de 2 a 3 log de <i>Escherichia coli</i> , <i>Salmonella typhimurium</i> e <i>Listeria monocytogenes</i> .	Jayasena <i>et al.</i> , 2015
Lombo de porco	Descarga de barreira dielétrica, a uma frequência de 30 kHz, durante 5 a 10 minutos de exposição	Redução de 0,5 log de <i>Escherichia coli</i> e <i>Listeria monocytogenes</i> .	Kim <i>et al.</i> , 2013
Fatias de peito de frango e presunto	Jatos de plasma a frio sob pressão atmosférica, a uma frequência de 50 kHz, durante 2 minutos de exposição	Redução de 4 log e de 6 log de <i>Listeria monocytogenes</i> no peito e presunto, respectivamente.	Lee <i>et al.</i> , 2011
Fatias de breasola	Descarga de barreira dielétrica, a uma frequência de 27,8 kHz, durante 0 a 60 segundos de exposição	Redução de até 1,6 log de <i>Listeria innocua</i> .	Rød <i>et al.</i> , 2012
Casca de ovos	Jatos de plasma a frio sob pressão atmosférica a uma frequência de 60 kHz, durante 5, 10 e 15 minutos de exposição	Redução de até 5,5 log de <i>Salmonella enteritidis</i> .	Wan <i>et al.</i> , 2017
Leite em pó	Jatos de plasma a frio sob pressão atmosférica a uma potência de 480 W, de 20 a 120 segundos de exposição	Reduções de 1,17 a 3,27 log de <i>Cronobacter sakazakii</i>	Chen <i>et al.</i> , 2019
Queijo fresco	Descarga de barreira dielétrica de alta tensão, a frequência de 60 Hz	Redução de 3,5 log de <i>Listeria innocua</i>	Wan <i>et al.</i> , 2019

Tabela 2. Resumo dos artigos pesquisados sobre utilização do plasma e seu efeito antimicrobiano em alimentos de origem vegetal.

Tipo de alimento	Método utilizado	Potencial antimicrobiano	Referência
Mirtilos	Jatos de plasma a frio sob pressão atmosférica, a uma frequência de 47 kHz, de 45 a 90 segundos de exposição	Redução de 1,5 log do tulane vírus e de 5 log do norovírus murino.	Lacombe <i>et al.</i> , 2017
Repolho, alface e figos secos	Jatos de plasma a frio sob pressão atmosférica, a uma potência de 900 W, durante 10 minutos de exposição	Inativação de <i>Salmonella typhimurium</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> e <i>Escherichia coli</i> .	Lee <i>et al.</i> , 2015
Pistache	Jatos de plasma a baixa pressão e temperatura, a uma potência de 100 W, durante 1 minuto a 1 minuto de 30 segundos de exposição	Redução de 3 a 5 log de <i>Aspergillus brasiliensis</i> e de até 4 log de <i>Escherichia coli</i> após 1 minuto e 30 segundos de exposição.	Pignata <i>et al.</i> , 2014
Semente de colza	Descarga de corona, a uma frequência de 58 kHz, durante 0 a 3 minutos de exposição	Redução de 2,2 e 2,0 de bactérias aeróbias e <i>E. coli</i> . Assim como, redução de 1,2, 1,8 e 2,0 log de <i>B. cereus</i> , <i>Salmonella</i> spp. e fungos e leveduras.	Puligundla, Kim e Mok, 2017
Morangos imergidos em água ativada	Jatos de plasma a frio sob pressão atmosférica, a uma frequência de 10 kHz durante 15 minutos de exposição	Redução de 1,6 log de <i>S. aureus</i> após 5 minutos de tratamento e de 2,3 log após 15 minutos.	Ma <i>et al.</i> , 2015

APLICAÇÕES DO PLASMA NA CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS DE ORIGEM ANIMAL

A tecnologia do plasma já vem sendo testada em diversos alimentos, sejam eles sólidos ou líquidos, de origem animal ou vegetal. Entretanto, a maioria dos estudos é voltada para a utilização do plasma em carnes e produtos cárneos em geral, como as carnes bovina, suína e de frango onde foi analisada a ação de jatos de plasma a frio, frequência de 28,5 kHz, e a pressão atmosférica sobre a sobrevivência de norovírus murino (MNV-1) e vírus da hepatite A (HAV), inoculados nesses produtos, e observou-se que para ambos os vírus foi encontrada uma redução de até 2 log em 5 minutos de exposição do jato de plasma e essa redução permaneceu até a utilização de 20 minutos de exposição. Também foi observado que utilizando o jato durante 5 minutos de exposição conseguiu-se manter as características de cor e umidade das carnes além de manter os valores de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) abaixo de 1,0 mg MA/Kg. Dessa forma, pode-se considerar o tratamento com jatos de plasma a frio como uma alternativa para processos não térmicos em alimentos ricos em gordura,

sendo eficaz no controle de transmissão de vírus de origem alimentar (BAE et al., 2015).

O plasma a frio também apresentou eficácia na inativação da microbiota superficial em carne. Em cortes de carne suína contaminados por algumas espécies microbianas que receberam tratamento de jatos de plasma (20 kPa) de gás hélio e de argônio a frio, sob baixa pressão, foi possível observar que utilizando o gás hélio obteve-se uma redução de mais de 1 log de leveduras, bolores e microrganismos psicotróficos e de cerca de 2 log para *Escherichia coli* e *Yersinia enterocolitica*, em tempos de exposição de 2 a 5 minutos. Utilizando o gás argônio foram observadas reduções menores, sendo necessário um tempo de exposição de 10 minutos para se obter algum decréscimo microbiano (ULBIN-FIGLEWICZ; JARMOLUK; MARYCZ, 2015).

A utilização do tratamento com plasma com descarga em barreira dielétrica também apresentou ação antimicrobiana. Em cortes de carne suína e lombo bovino inoculadas com culturas padrão de *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium* e *Listeria monocytogenes* foram observados resultados satisfatórios. Utilizando os gases nitrogênio e oxigênio durante 10 minutos de exposição a uma tensão de 15kHz foi possível reduzir de 2 até 3 log de alguns microrganismos estudados. Em relação as características físico-químicas como cor e oxidação lipídica foi observado que utilizando um tempo de exposição de 7,5 minutos foi possível manter as características das carnes aceitáveis, incluindo a aparência, cor, sabor e aceitabilidade geral (JAYASENA et al., 2015).

Ainda analisando a ação do tratamento com plasma com descarga em barreira dielétrica em lombo de porco sobre culturas de *Escherichia coli* e *Listeria monocytogenes*, utilizando mistura de gás hélio e oxigênio, a uma tensão de 30kHz durante 5 e 10 minutos de exposição, foi possível observar uma redução de 0,5 log de ambos os microrganismos no maior tempo de exposição, demonstrando que o plasma DBD apresenta ação de inativação sobre agentes patogênicos em produtos cárneos. No entanto, em relação aos parâmetros físico-químicos observou-se redução do pH, dos valores de L* (luminosidade) e a* (teor de vermelho), além de aumento nos valores de TBARS. Em relação as características sensoriais analisadas (aspecto, cor, odor e aceitabilidade) apenas as amostras cruas de lombo de porco apresentaram resultados indesejáveis, quando o lombo foi cozido não foram observadas diferenças para as amostras controle. Como alternativa às mudanças observadas, principalmente na oxidação da carne, é sugerido o uso de antioxidantes naturais, como os compostos fenólicos, visando reduzir a oxidação lipídica (KIM et al., 2013).

Em fatias de peito de frango e presunto inoculadas com culturas de *Listeria monocytogenes* foi aplicado um tratamento com plasma, a pressão atmosférica, a uma tensão de 50kHz e com mistura dos gases hélio (He), nitrogênio (N₂) e oxigênio (O₂) durante 2 minutos de exposição. Para carne de frango foram observadas reduções de até 4 log e para o presunto de até 6 log. Nesses produtos também foi observada redução nas contagens de bactérias aeróbias totais em fatias de peito de frango. Com exceção do jato de gás He, após 7 dias de armazenamento a 10°C não foram detectadas células viáveis. Dessa forma, tem-se o tratamento com plasma a pressão atmosférica como uma alternativa de grande potencial para inativação de *L. monocytogenes* em carnes fatiadas, prologando a vida de prateleira desses produtos (LEE et al., 2011).

Ainda analisando produtos fatiados, foi estudada a ação do plasma com descarga de barreira dielétrica sobre fatias de breasola, inoculadas com *Listeria innocua*. As fatias foram colocadas em sacos plásticos e nestes foram inoculadas uma mistura gasosa constituída por 70% de argon e 30% de oxigênio. Foram utilizados tempos de tratamento de 0, 2, 5, 10, 20 e 60 segundos a uma frequência de 27,8kHz. Todos os tratamentos utilizados apresentaram redução significativa de *L. innocua*, chegando a redução de 1,6 log. Foi observado também que o tratamento com o plasma aumentou a oxidação lipídica, no entanto os valores encontrados ainda estavam dentro do limite considerado aceitável. Sendo assim, o plasma pode ser considerado uma alternativa para conservação de produtos cárneos embalados (RØD et al., 2012).

Além de carnes e produtos cárneos, autores também estudaram o efeito do plasma sob pressão atmosférica a frio a 85 kV, sobre a sobrevivência de *Salmonella enteritidis* em cascas de ovos. Foram utilizados os modos de exposição direto, onde os ovos foram colocados diretamente no campo elétrico, e indireto, onde os ovos foram colocados dentro de uma caixa de material plástico, durante 3 tempos diferentes (5, 10 e 15 minutos), com frequência de 60kHz. Para tanto, inoculou-se uma suspensão bacteriana nos ovos e analisou-se a sobrevivência do microrganismo. Em todos os tratamentos houve redução microbiana com o aumento do tempo de exposição. O tratamento direto apresentou resultados mais satisfatórios e neste os tempos de exposição de 5 e 10 minutos resultaram em reduções de *S. enteritidis* de 0,7 e 2,3 log, respectivamente, e após 15 minutos uma redução de 5,5 log, demonstrando assim a eficácia do uso de tratamento com plasma sobre a redução microbiana em cascas de ovos (WAN et al., 2017).

Em bebida láctea de chocolate foi testada a ação do plasma a frio a potência de 400 W e frequência de 50 kHz, utilizando o gás nitrogênio. As amostras foram tratadas com plasma a vazões de gás de 10, 20 e 30 mL/min nos tempos de 5, 10 e 15 min. Nas condições intermediárias (vazão de 20 mL/min durante 5 min) foram observadas concentrações adequadas de compostos bioativos, composição de ácidos graxos e aumento do número de compostos voláteis (cetonas, ésteres e lactonas) (COUTINHO et al., 2019). Em leite em pó sem gordura também se observou ação satisfatória do uso de plasma a frio. A ação conjunta de plasma atmosférico a frio, com potência de 480 W, e sistema de reação fluidizado durante 20 a 120s levaram a reduções logarítmicas de 1,17-3,27 log de *Cronobacter sakazakii*, além de manutenção da cor, da cristalinidade, da composição de aminoácidos e conteúdo fenólico (CHEN et al., 2019). Em queijo fresco também foi observada redução de 3,5 log de *Listeria innocua* com a utilização de plasma frio atmosférico de alta tensão pelo modo direto. O sistema aplicado foi uma descarga de barreira dielétrica com saída de 130 kV a uma frequência de 60 Hz (WAN et al., 2019).

APLICAÇÕES DO PLASMA NA CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS DE ORIGEM VEGETAL

Estudos com produtos de origem vegetal têm apresentado também resultados satisfatórios, demonstrando que o plasma é uma boa alternativa para redução de microrganismos contaminantes de frutas e vegetais. Em mirtilos analisados no período pós-colheita foram inoculadas culturas de tulane vírus e norovírus murino e nestas amostras foi aplicado o tratamento com plasma a frio,

sob pressão atmosférica, a tensão de 47 kHz. Foi observado que o tratamento com plasma tem potencial para descontaminação pós-colheita para os vírus estudados, uma vez que foi encontrada redução de até 1,5 log de partículas virais de tulane vírus em um tempo de exposição de 45s e de mais de 5 log para o norovírus murino em 90s de exposição, sendo possível que essa tecnologia seja incorporada também para os procedimentos pré-embalagem e nas embalagens (LACOMBE et al., 2017).

Em amostras de repolho, alface e figos secos inoculadas com culturas de *Salmonella typhimurium*, *Listeria monocytogenes* e *Escherichia coli* foi aplicado o tratamento com plasma a frio a pressão, 900 W de potência, com mistura dos gases hélio (He), nitrogênio (N₂) e oxigênio (O₂) onde foi observada redução de 2 log, de todos os patógenos, em até 10 minutos de exposição. Sendo assim, o plasma a frio apresenta potencial como tratamento antimicrobiano podendo ser utilizado no processamento de vegetais (LEE et al., 2015).

Pistaches naturalmente contaminados por fungos foram submetidos ao tratamento com plasma a baixa pressão e temperatura, utilizando uma potência de 100 W, sendo encontrada redução de 2 log após 1 minuto de exposição. Nesse mesmo estudo observou-se também uma redução de 3 a 5 log de *Aspergillus brasiliensis* e de até 4 log de *Escherichia coli* após 1 minuto e 30 segundos de exposição, onde a mistura de gases argônio e oxigênio foi mais eficaz que a utilização dos gases separados (PIGNATA et al., 2014).

Utilizando o jato de plasma em descarga de corona, durante tempos de 0 e 3 minutos, a uma frequência de 58 kHz, em sementes de colza (*Brassica napus*) observaram-se reduções de 2,2 e 2,0 log de bactérias aeróbias totais e *Escherichia coli*, respectivamente. Além disso, *Bacillus cereus*, *Salmonella* sp., fungos e leveduras foram reduzidos em 1,2, 1,8 e 2,0 log, respectivamente. Entretanto, algumas características sensoriais foram afetadas negativamente quando se utilizou 3 minutos de tratamento. Sendo assim, a descarga de corona apresentou resultado satisfatório para a descontaminação de sementes, mas outros estudos devem ser realizados visando aprofundar a aplicação do plasma nas características sensoriais (PULIGUNDLA; KIM; MOK, 2017).

Além do estudo da ação do plasma sobre o próprio vegetal, outro seguimento de pesquisa é a utilização do plasma na água para imersão de frutos, denominada como água ativada por plasma. Analisando esse tipo de tecnologia em morangos, inoculou-se uma suspensão de *Staphylococcus aureus* nos frutos e estes foram imersos em água ativada com plasma frio, a pressão atmosférica, gerado a uma tensão de 10kHz, composto dos gases argônio e oxigênio. Observou-se que em 5 minutos de tratamento já foi possível reduzir 1,6 log de *S. aureus* nos morangos e que após 15 minutos de exposição foi possível reduzir até 2,3 log. A ação bactericida do plasma sobre o microrganismo estudado foi verificada e comprovada, sendo observada a morte de células bacterianas após o tratamento de 15 minutos de exposição. Em relação as características sensoriais como cor, pH e firmeza dos morangos os resultados encontrados mostraram que houveram mudanças negativas nesses parâmetros, o que pode ser uma barreira para a comercialização desse produto. Diante disso, sugere-se mais estudos para a aplicação correta dessa tecnologia em produtos frescos (MA et al., 2015).

CONCLUSÕES

A garantia da qualidade higiênica dos alimentos, assim como o aumento do tempo de conservação são ideais almejados pelas indústrias e consumidores. Entre os métodos de conservação o plasma surge como uma tecnologia promissora e inovadora devido aos resultados satisfatórios na redução da contaminação microbiana dos alimentos, principalmente de origem animal, garantindo aos produtos uma maior estabilidade e vida de prateleira. Apesar de suas vantagens, sua aplicação industrial ainda encontra entraves devido a sua inviabilidade econômica, além de resultados insatisfatórios quanto às características sensoriais dos produtos. Diante disso, mais estudos devem ser realizados em outros alimentos e testando novas combinações de frequências e tempos de exposição, visando aumentar a perspectiva de utilização do plasma na conservação de alimentos.

Potentialities of plasma technology in food conservation: a review

ABSTRACT

One of the major concerns of the food industry is the conservation of food and the increase in shelf life. Among the innovative methods of conservation, the use of plasma has advantages over conventional methods because it does not generate residues that remain in the products to which it is applied. The studies carried out are mostly meat and meat products, demonstrating the effectiveness of this technology on various microorganisms, including of the public health importance, such as *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* and *Salmonella* sp, characterizing such a method as a promising tool in the food area. In this context, this review provides an overview on the use of plasma as a food preservation method, aiming at a discussion about this topic.

KEYWORDS: microorganisms; shelf life; quality.

REFERÊNCIAS

- ALCANTARA, M. de; MORAIS, I. C. L. de; SOUZA, C. M. O. C. C. de. Principais microrganismos envolvidos na deterioração das características sensoriais de derivados cárneos. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v. 6, n. 1, p. 1-20, 2012.
- BAE, S.; PARK, S. Y.; CHOE, W.; HA, S. Inactivation of murine norovirus-1 and hepatitis A virus on fresh meats by atmospheric pressure plasma jets. **Food Research International**, Canada, v. 76, p. 342–347, 2015.
- CAMPBELL-PLATT, G. C. **Food Science and Technology**. São Paulo: Editora Manole, 2015. 536 p.
- CASTRO, A. C. S.; PINTO JÚNIOR, W. R.; TAPIA, D. M. T.; CARDOSO, L. G. V. Avaliação da qualidade físico-química e microbiológica de queijos do tipo mussarela comercializados no Ceasa de Vitória da Conquista-BA. **Alimentos e Nutrição**, v. 23, n. 3, p. 407-413, 2012.
- CHEN, D.; PENG, P.; ZHOU, N.; CHENG Y.; MIN, M.; MA, Y.; MAO, Q.; CHEN, P.; CHEN, C.; RUAN, R. Evaluation of *Cronobacter sakazakii* inactivation and physicochemical property changes of non-fat dry milk powder by cold atmospheric plasma. **Food Chemistry**, v. 290, p. 270-276, 2019.
- COUTINHO, N. M.; SILVEIRA, M. R.; FERNANDES, L. M.; MORAES, J.; PIMENTEL, T. C.; FREITAS, M. Q.; SILVA, M. C.; RAICES, R. S. L.; RANADHEERA, C. S.; BORGES, F. O.; NETO, R. P. C.; TAVARES, M. I. B.; FERNANDES, F. A. N.; FONTELES, T. V.; NAZZARO, F.; RODRIGUES, S.; CRUZ, A. G. Processing chocolate milk drink by low-pressure cold plasma technology. **Food Chemistry**, v. 278, p. 276-283, 2019.
- CRUZ, A. G.; ZACARCHENCO, P. B.; OLIVEIRA, C. A. F.; CORASSIN, C. H. **Processamento de Leites de Consumo**. Rio de Janeiro, Elsevier, 2017.
- EZEKIE, F. C.; SUN, D.; CHENG, J. A review on recente advances in cold plasma technology for the food industry: Current applications and future trends. **Trends in Food Science & Technology**, v. 69, Part A, p. 46-58, 2017.
- FELLOWS, P. J. **Tecnologia de processamento de alimentos: princípios e práticas**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602p.
- FIB – FOOD INDREDIENTS BRASIL. **Microrganismos causadores de doenças de origem alimentar**. Food Ingredients Brasil, v.19, 2011.

FORSYTHE, S. J. **Microbiologia da segurança dos alimentos**. 2.ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. **Microbiologia dos Alimentos**. São Paulo: Editora Atheneu, 2008. 182 p.

GAVA, A. J.; SILVA, A. B.; FRIAS, J. R. G. **Tecnologia de Alimentos: princípios e aplicações**. São Paulo: Nobel, 2009. 512p.

HOJNIK, N.; CVELBAR, U.; TAVCAR-KALCHER, G.; WALSH, J. L.; KRIZAJ, I. Mycotoxin Decontamination of Food: Cold Atmospheric Pressure Plasma versus "Classic" Decontamination. **Toxins**, v. 9, n. 151, p. 1-19, 2017.

JAY, J. M. **Microbiologia de alimentos**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2005. 711p.

JAYASENA, D. D.; KIM, H. J.; YONG, H. I.; PARK, S.; KIM, K.; CHOE, W.; JO, C. Flexible thin-layer dielectric barrier discharge plasma treatment of pork butt and beef loin: Effects on pathogen inactivation and meat-quality attributes. **Food Microbiology**, v. 46, p. 51-57, 2015.

JUDÉE, F.; WATTIEAUX, G.; MERBAHI, N.; MANSOUR, M.; CASTANIÉ-CORNET, M. P. The antibacterial activity of a microwave argon plasma jet at atmospheric pressure relies mainly on UV-C radiations. **Journal of Physics D: Applied Physics**, v. 47, p. 1-7, 2014.

KIM, H.; YONG, H.; PARK, S.; CHOE, W.; JO, C. Effects of dielectric barrier discharge plasma on pathogen inactivation and the physicochemical and sensory characteristics of pork loin. **Current Applied Physics**, v. 13, p. 1420-1425, 2013.

LACOMBE, A.; NIEMIRA, B. A.; GURTLER, J. B.; SITES, J.; BOYD, G.; KINGSLEY, D. H.; LI, X.; CHEN, H. Nonthermal inactivation of norovirus surrogates on blueberries using atmospheric cold plasma. **Food Microbiology**, v. 63, p. 1-5, 2017.

LEE, H. J.; JUNG, H.; CHOE, W.; HAM, J. S.; LEE, J. H.; JO, C. Inactivation of *Listeria monocytogenes* on agar and processed meat surfaces by atmospheric pressure plasma jets. **Food Microbiology**, v. 28, p. 1468-1471, 2011.

LEE, H.; KIM, J. E.; CHUNG, M.; MIN, S. C. Cold plasma treatment for the microbiological safety of cabbage, lettuce, and dried figs. **Food Microbiology**, v. 51, p. 74-80, 2015.

MACHALA, Z.; HENSEL, K.; AKISHEV, Y. **Plasma for Bio-Descontamination, Medicine and Food Security**. Berlin: Springer, 2012.

MA, R.; WANG, G.; TIAN, Y.; WANG, K.; ZHANG, J.; FANG, J. Non-thermal plasma-activated water inactivation of food-borne pathogen on fresh produce. **Journal of Hazardous Materials**, v. 300, p. 643-651, 2015.

MANDAL, R.; SINGH, A.; SINGH, P. A. Recent developments in cold plasma descontamination technology in the food industry. **Trends in Food Science & Technology**, v. 80, p. 93-103, 2018.

MASSAGUER, R. P. **Microbiologia dos processos alimentares**. São Paulo: Varela, 2005.

NOVAES, S. F. de; CONTE-JUNIOR, C. A.; FRANCO, R. M.; MANO, S. B. Influência das novas tecnologias de conservação sobre os alimentos de origem animal. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, v. 5, n. 19, p. 1-21, 2012.

ORDÓÑEZ, J. A.; RODRÍGUEZ, M. I. C.; ÁLVAREZ, L. F.; SANZ, M. L. G.; MINGUILLÓN, G. D. G. F.; PERALES, L. L. H.; CORTECERO, M. D. S. **Tecnologia dos alimentos, Vol. 1 – Componentes dos Alimentos e Processos**. Porto Alegre: Artmed, 2005. 204p.

PANKAJ, S. K.; BUENO-FERRER, C.; MISRA, N. N.; MILOSAVLJEVIĆ, V.; O'DONNELL, C. P.; BOURKE, P.; KEENER, K. M.; CULLEN, P. J. Applications of cold plasma technology in food packaging. **Trends in Food Science & Technology**, v. 35, p. 5-17, 2014.

PIETROWSKI, G. A. M.; RANTHUM, M.; CROZETA, T.; JONGE, V. de. Avaliação da qualidade microbiológica de queijo tipo mussarela comercializado na cidade de Ponta Grossa, Paraná. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 2, n. 2, p. 25-31, 2008.

PIGNATA, C.; D'ANGELO, D.; BASSO, D.; CAVALLERO, M. C.; BENEVENTI, S.; TARTARO, D.; MEINER, V.; GILLI, G. Low-temperature, low-pressure gas plasma application on *Aspergillus brasiliensis*, *Escherichia coli* and pistachios. **Journal of Applied Microbiology**, v. 116, p. 1137-1148, 2014.

PULIGUNDLA, P.; KIM, J.; MOK, C. Effect of corona discharge plasma jet treatment on descontamination and sprouting of rapeseed (*Brassica napus* L.) seeds. **Food Control**, v. 71, p. 376-382, 2017.

REINEKE, K.; LANGER, K.; HERTWIG, C.; EHLBECK, J.; SCHLÜTER. The impact of different process gas compositions on the inactivation effect of an atmospheric pressure plasma jet on *Bacillus* spores. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 30, p. 112-118, 2015.

ROSSI, P.; BAMPI, G. B. Qualidade microbiológica de produtos de origem animal produzidos e comercializados no Oeste Catarinense. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 22, n. 2, p. 748-757, 2015.

RØD, S.K.; HANSEN, F.; LEIPOLD, F.; KNØCHEL, S. Cold atmospheric pressure plasma treatment of ready-to-eat meat: Inactivation of *Listeria innocua* and changes in product quality. **Food Microbiology**, v. 30, p. 233-238, 2012.

SAMAL, S. Thermal plasma technology: the prospective future in material processing. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, Part. 4, p. 3131-3150, 2017.

SANTANA, R. F.; SANTOS, D. M.; MARTINEZ, A. C. C.; LIMA, A. S. Qualidade microbiológica de queijo-coalho comercializado em Aracaju, SE. **Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 60, n. 6, p. 1517-1522, 2008.

SCHLÜTER, O.; EHLBECK, J.; HERTEL, C.; HABERMAYER, M.; ROTH, A.; ENGEL, K.; HOLZHAUSER, T.; KNORR, D.; EISENBRAND, G. Opinion on the use of plasma processes for treatment of foods. **Molecular Nutrition & Food Research**, v. 57, p. 920-927, 2013.

SILVA, F. R.; SANTATA, C. M. de; MELO, W. F.; TALABERA, G. G.; SARMENTO, W. E.; SOBRINHO, W. S.; SÁ, J. A. de; MACHADO, A. V. Conservação e controle de qualidade de queijos: Revisão. **Pubvet Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 11, n. 4, p. 333-341, 2017.

SMET, C.; NORIEGA, E.; ROSIER, F.; WALSH, J. L.; VALDRAMIDIS, V. P.; VAN IMPE, J. F. Influence of food intrinsic factors on the inactivation efficacy of cold atmospheric plasma: Impact of osmotic stress, suboptimal pH and food structure. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 38, p. 393-406, 2016.

ULBIN-FIGLEWICZ, N.; JARMOLUK, A.; MARYCZ, K. Antimicrobial activity of low-pressure plasma treatment against selected foodborne bacteria and meat microbiota. **Annals of Microbiology**, v. 65, p. 1537-1546, 2015.

WAN, Z.; CHEN, Y.; PANKAJ, S. K.; KEENER, K. M. High voltage atmospheric cold plasma treatment of refrigerated chicken eggs for control of *Salmonella Enteritidis* contamination on eggs shell. **LWT – Food Science and Technology**, v. 76, p. 124-130, 2017.

WAN, Z.; PANKAJ, S. K.; MOSHER, C.; KEENER, K. M. Effect of high voltage atmospheric cold plasma on inactivation of *Listeria innocua* on Queso Fresco chesse, cheese model and tryptic soy agar. **LWT – Food Science and Technology**, v. 102, p. 268-275, 2019.

ZENI, M. P.; MARAN, M. H. S.; SILVA, G. P. R. da; CARLI, E. M. de; PALEZI, S. C. Influência dos microrganismos psicrotróficos sobre a qualidade do leite refrigerado para produção de UHT. **Unoesc & Ciência - ACET**, v. 4, n. 1, p. 61-70, 2013.

Recebido: 03 set. 2019.

Aprovado: 08 jun. 2020.

DOI: 10.3895/rebrapa.v10n4.10654

Como citar:

MEDEIROS, J. M. S.; SOARES, K. M. P.; MORAES, F. P. Potencialidades da tecnologia do plasma na conservação de alimentos: uma revisão. **Brazilian Journal of Food Research**, Campo Mourão, v. 10 n. 4, p. 166-183, out./dez. 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufpr.edu.br/rebrapa>

Correspondência:

Jovilma Maria Soares de Medeiros

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Rua Francisco Mota Bairro, 572, Pres. Costa e Silva, Mossoró, CEP 59625-900, Rio Grande do Norte, Brasil.

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

