

RADIAÇÃO MICRO-ONDAS: APLICAÇÕES EM ALIMENTOS E IMPACTOS MICROBIOLÓGICOS NA CARNE

Microwave radiation: applications in foods and microbiological impacts on meat

Maria Fernanda da Silveira Cáceres de Menezes¹, Caroline Posser Simeoni¹, Gabriela Poletto², Juliano Smanio Barin³, Alexandre José Cichoski³, Cristiano Ragagnin de Menezes³

¹Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) - Aluna do Programa de Pós – Graduação de Ciência e Tecnologia dos Alimentos.

²Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) - Aluna Bolsista de Iniciação Científica do Curso de graduação em Tecnologia dos Alimentos.

³UFSM – Prof. Adjunto do departamento de Tecnologia e Ciência dos Alimentos

Resumo

A demanda por alimentos, especialmente pelo consumo de carnes e produtos cárneos, está impulsionada em países que estão em pleno desenvolvimento, entretanto os consumidores estão cada vez mais exigentes quanto à qualidade destes alimentos. Para corresponder a essa demanda, sem comprometer a segurança alimentar, várias alternativas de preservação têm sido propostas e investigadas com a finalidade de reduzir micro-organismos vegetativos comumente relacionados com doenças transmitidas por alimentos. A carne é um excelente substrato para o desenvolvimento microbiano, se comporta como um autêntico meio de cultura devido aos seus fatores intrínsecos e ambientais que permitem o desenvolvimento de inúmeros micro-organismos. A radiação não ionizante das micro-ondas apresenta-se como uma nova possibilidade para o controle microbiano de carnes e produtos cárneos. Essa radiação consiste na transferência de calor através de ondas eletromagnéticas na gama de 300 a 300.000 mega-hertz (MHz), promovidas por ondas de energia elétrica e magnética que se movem juntas através do espaço. As micro-ondas apresentam diferentes aplicações na área de tecnologia de alimentos, tais como descongelamento, secagem, extração, pasteurização, descontaminação e desinfecção de utensílios, no entanto, os benefícios e limitações dessa tecnologia em uma aplicação industrial devem ser analisados e discutidos. Este estudo tem por objetivo revisar, investigar e discutir as aplicações gerais e específicas da radiação de micro-ondas como um método alternativo ou complementar aos métodos tradicionais de conservação de carne.

Palavras-chave: tecnologias emergentes, impactos microbiológicos, carnes.

Abstract

The demand for food, especially the consumption of meat and meat products, is increasing in countries that are in full development, however consumers are increasingly demanding about the quality of these foods. To meet this demand, many alternatives preservation have been proposed and investigated in order to reduce vegetative micro-organisms commonly associated with foodborne illness. Meat is an excellent substrate for microbial growth, behaves like authentic culture medium due to its intrinsic and environmental factors that allow the development of numerous microorganisms. The nonionizing radiation of microwaves is presented as a new possibility for microbial control of meat and meat products. This radiation is the transfer of heat through electromagnetic waves in the range 300-300.000 megahertz (MHz), promoted by waves of electrical and magnetic energy moving together through space. Microwaves have different applications in area of food technology, such as thawing, drying, extraction, pasteurization, decontamination and disinfection of utensils, however, the benefits and limitations of this technology in an industrial application must be analyzed and discussed. This study aims to review, investigate and discuss the general and specific applications of microwave radiation as an alternative or complementary method to traditional process of preservation of meat.

Keywords: emerging technologies, microbiological impacts, meat.

I INTRODUÇÃO

Os alimentos contaminados são uma das principais preocupações de saúde pública, podendo ser uma das maiores causas de doenças e mortes. As doenças transmitidas por alimentos (DTA) são causadas por agentes químicos, como pesticidas, metais e micotoxinas, ou por agentes biológicos, como micro-organismos patogênicos, através da ingestão de água ou alimentos contaminados (ROSSI, 2010).

Os micro-organismos são os principais agentes responsáveis pela deterioração dos alimentos e intoxicação alimentar e, portanto, a conservação dos alimentos na indústria tem por princípio adotar métodos para inibir ou inativar o crescimento microbiano, no intuito de garantir a segurança alimentar e aumentar a vida útil dos alimentos (MAÑAS; PAGÁN, 2005).

Na indústria de carnes, as operações de abate, corte e processamento podem aumentar a contaminação microbiana destas devido às suas características e a falta de procedimentos sanitários apropriados (AZIS et al., 2001). A carne e os produtos cárneos têm sido implicados na transmissão de agentes patogênicos humanos, tais como *Escherichia coli*, *Salmonella spp.*, *Pseudomonas spp.*, *Campylobacter spp.*, *Enterococcus faecalis*, *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* e *Clostridium perfringens* (AZIS et al., 2001).

A utilização da energia de micro-ondas tem sido relatada, na literatura viável, na redução microbiana de alimentos, melhorando a qualidade microbiológica e prolongando a vida de prateleira (AYMERICH et al., 2008; AZIS et al., 2001).

Há evidências de que as micro-ondas podem causar diferentes efeitos biológicos, dependendo da duração do tempo de exposição e das frequências utilizadas (BANIK et al., 2003). Estes efeitos foram atribuídos principalmente ao aquecimento das micro-ondas, ou seja, a capacidade de um produto alimentar para aquecer, que corresponde ao limite do material para converter energia eletromagnética em energia térmica, conhecido como coeficiente de perda dielétrica (FARID; TAHER, 2001; BANIK et al., 2003). Trabalhos recentes têm mostrado que há efeitos de micro-ondas não térmicos, em termos de energia necessária para produzir vários tipos de transformações e alterações moleculares, e uma das abordagens modernas para a utilização da irradiação de micro-ondas é o processo de esterilização na indústria de alimentos (BANIK

et al., 2003).

O uso da irradiação de micro-ondas, envolvendo estudos microbiológicos, resultou em duas relevantes conclusões: a morte celular microbiana ocorre devido ao calor produzido pela irradiação e devido ao campo elétrico criado pelas micro-ondas, o qual promove mudança na estrutura secundária e terciária das proteínas dos micro-organismos (BANIK et al., 2003).

Segundo Farid e Taher (2001), um dos principais problemas que limitam o desenvolvimento do processamento industrial de micro-ondas é a falta de compreensão das interações entre a radiação micro-ondas e os componentes alimentares.

Apesar das limitações desta tecnologia, o uso da energia de micro-ondas apresenta vantagens na descontaminação de utensílios, no tempo de processo, diminuindo os custos energéticos e, ainda, dispensa a utilização de produtos químicos comumente utilizados em alguns métodos convencionais. Todos esses motivos tornam esta tecnologia viável e competitiva, economicamente e ambientalmente, para ser implementada em sistemas industriais, desde que sejam revistas as suas limitações, como por exemplo, a falta de uniformidade na distribuição do aquecimento em sistemas sem controle de temperatura e potência (BÉLANGER et al., 2008; AYMERICH et al., 2008; AZIS et al., 2001).

Este estudo pretende revisar, investigar e discutir as aplicações gerais em alimentos e específicas da radiação de micro-ondas como um método alternativo ou complementar aos métodos tradicionais de conservação de carne.

2 CARACTERÍSTICAS DA CARNE

Segundo Ordóñez et al. (2005) é difícil definir a composição química da carne, já que existem muitas diferenças devido a fatores como a espécie animal, a raça, o sexo, o tipo de alimentação e, em alguns casos, o tipo de corte de carne ou o músculo analisado, mas estima-se que apresente em torno de 65 – 80% de água; 16 – 22% de proteína; e quantidades inferiores de outras componentes como gorduras, cinzas, substâncias nitrogenadas não proteicas (aminoácidos livres, peptídeos, nucleotídeos, creatina), carboidratos, ácido láctico, minerais e vitaminas, e características de pH próximo de 5,5 e a atividade de água maior que 0,97 (HÉRNANDEZ-MACEDO et al., 2011). Por estas características, as carnes constituem exce-

lentes meios de cultura para o desenvolvimento e crescimento bacteriano (ELLIS; GOODACRE, 2001; LABADIE, 1999).

A carne também pode ser definida como o resultado das diversas transformações químicas sofridas pelo músculo após o abate dos animais, sendo que o músculo vivo é um tecido altamente especializado, com capacidade de contração e relaxamento que está diretamente relacionado ao encurtamento das fibras musculares e à perda da maciez que ocorrem na carne no *post mortem* (KOBLOITZ, 2010). Após o abate, a fibra muscular deve modificar o seu metabolismo para adaptar-se às novas condições e manter a homeostasia que permita o seu funcionamento (ORDÓÑEZ et al., 2005).

Entre as transformações químicas ocorridas no processo de transformação do músculo em carne, uma das mais importantes envolve a redução do pH. No tecido vivo, o glicogênio é transformado em ácido láctico e, posteriormente, em dióxido de carbono (CO₂), com a liberação de energia muscular. O CO₂ é eliminado através do sangue e nova reserva de glicogênio é produzida pelas substâncias nutritivas ingeridas. O processo é aeróbio e a presença de ácido láctico é passageira, assim o pH do tecido vivo permanece em torno de 7,0. Após o abate, cessam a oxigenação e a eliminação de CO₂, favorecendo a ação de certas enzimas que, com a participação do ácido fosfórico, decompõem o glicogênio em ácido láctico, que se acumula nos tecidos, reduzindo o pH até 5,4 (a velocidade e o grau de redução do pH dependem de muitos fatores, como a quantidade de glicogênio existente, a temperatura, dentre outros) (BRESSAN et al., 2001)

Segundo Bressan et al. (2001), o potencial hidrogeniônico (pH) da carne, logo após o abate, encontra-se entre 7,0 e 7,5, devido à formação de ácido láctico e gás carbônico. Reduzindo esses valores para 6,0 dentro de 4 até 20 horas. As alterações bioquímicas *post mortem* que acontecem no músculo, reduzindo o pH, também modificam outros atributos importantes na qualidade da carne, como a maciez, o sabor, a capacidade de retenção de água e a conservação do produto (GALARZ, 2008).

A água, por ser um componente abundante na carne, influencia diretamente na qualidade da mesma, afetando a suculência, textura, cor e sabor. Sendo, esta, o meio universal das reações biológicas, sua presença favorece alterações durante o armazenamento e o processamento e, por isso, a carne deve ser manipulada de acordo com as

boas práticas de higiene e conservada de maneira adequada (ROÇA, s.d.; LAWRIE, 2005).

O resfriamento rápido das carcaças é realizado no intuito de reduzir a proliferação de micro-organismos na matéria-prima. Entretanto, o abaixamento rápido da temperatura dos músculos, no início do desenvolvimento do *rigor mortis*, pode provocar o endurecimento da carne, ou “cold shortening” (encurtamento pelo frio), ou seja, os músculos da carcaça são estimulados a contrair quando expostos a baixas temperaturas na fase que antecede o *rigor mortis*. Para evitar esse efeito indesejável, e comum a carcaças leves e magras, a solução seria deixar as carcaças a temperaturas acima de 10°C até o estabelecimento do *rigor mortis* (50% do ATP inicial, pH igual a 6,0 ou 10 horas após a sangria) e, então, reduzir rapidamente a temperatura (FELÍCIO, 1997).

3 ASPECTOS MICROBIOLÓGICOS DA CARNE

A qualidade microbiológica de uma carne depende do estado fisiológico do animal no momento do abate, do grau de contaminação durante o processamento e das condições (especialmente temperatura) de estocagem e distribuição (NYCHAS et al., 2008).

Bressan et al. (2001) descrevem que a contaminação externa da carne pode ocorrer no abatedouro (através da pele dos animais, sujidades, conteúdo gastrointestinal, ar, água, utensílios, pessoal), na manipulação pós-abate (refrigeração, congelamento, processos de industrialização, empacotamento, transporte e distribuição, manipulação doméstica) e por micro-organismos provenientes dos seres humanos ou do solo. A etapa de esfolagem é particularmente importante devido à elevada carga microbiana presente na superfície do couro, podendo conter material fecal, que, com a não esterilização e troca de facas durante o procedimento operacional, pode resultar em um problema de saúde pública (HÉRNANDEZ-MACEDO et al., 2011).

De acordo com a sua importância em alimentos, os micro-organismos foram classificados em deteriorantes, os quais modificam as características organolépticas do alimento (*Pseudomonas*); patogênicos podem provocar doenças no homem pela ingestão de células viáveis ou de seus metabólitos tóxicos (*Clostridium botulinum* – toxina botulínica); e indicadores, por sua origem e características próprias, são utilizados para avaliar as

condições higiênico-sanitárias ou de processamento de um alimento (coliformes termotolerantes - *E. coli*) (GAVA, 2008).

Os animais destinados à produção de carne são considerados importantes reservatórios de micro-organismos patogênicos (VARNAM; SHUTERLAND, 1995), embora o tecido muscular seja isento de micro-organismos imediatamente após o abate, sendo posteriormente contaminado, uma vez que apresenta quantidades relevantes de compostos como glicose, ácido lático e aminoácidos livres, nutrientes favoráveis inicialmente para o consumo de bactérias deterioradoras.

Nychas et al. (2008) considera que a glicose e o ácido lático parecem ser os substratos iniciais para o crescimento microbiano, quando esgotados estes, as bactérias passam a metabolizar compostos nitrogenados, como os aminoácidos. Quando esgotados os substratos nitrogenados não proteicos, as bactérias passam a alimentar-se de proteínas, o que ocasiona no amolecimento de tecidos e aumento da produção de compostos voláteis, acelerando a decomposição (FRANCO; LANDGRAF, 1996).

Ellis e Goodacre (2001) associam o processo de deterioração de carnes ao consumo de compostos nitrogenados por bactérias *Pseudomonas* após o consumo da glicose. Confirmando este estudo, Koutsomains et al. (2006) observaram que as alterações sensoriais durante a estocagem de carne moída em aerobiose estavam correlacionadas com o aumento das populações desta bactéria e Jay et al. (2003) também verificaram a predominância de espécies do gênero *Pseudomonas* na deterioração de carne moída, estocada sob aerobiose e temperatura de refrigeração (5°C a 7°C). Ainda, Jay et al. (2003) destacam a importância do controle dessas espécies microbianas, pois atribuíram a estas a capacidade de formarem biofilme, provavelmente através de um mecanismo de sensor de quorum, ou seja, os micro-organismos, após colonizarem as células de um tecido, produzem moléculas pequenas, indutoras ou sinalizadoras, que saem das células de origem e se acumulam. Quando um nível crítico dessas moléculas é atingido, elas penetram e colonizam células vizinhas, induzindo a produção de pigmentos e formação de limo, dessa forma, facilitam a adaptação dessas espécies.

Bactérias, leveduras e fungos podem causar a deterioração da carne em condições de aerobiose. Odores estranhos, resultantes de atividade bacteriana, normalmente constituem os primeiros sinais de alterações (FRANCO; LANDGRAF, 1996). Em condições de anaerobiose, as principais alterações

são a acidificação e a putrefação. Geralmente, a acidificação está relacionada com o acúmulo de ácidos orgânicos produzidos por bactérias durante a degradação enzimática de moléculas complexas, enquanto que a putrefação resulta da proteólise causada por espécies do gênero *Clostridium*, com produção de compostos de odor desagradável (FRANCO; LANDGRAF, 1996).

A maioria das bactérias psicrotróficas encontradas nos alimentos são espécies de *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Klebsiella*, *Esherichia*, *Lactobacillus*, *Listeria*, *Moraxella*, *Pseudomonas*, *Serratia*, *Streptococcus*, entre outras (ALTUNATMAZ et al., 2012), entretanto, os gêneros mais importantes de bactérias envolvidas na deterioração de carne fresca bovina são *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Acinetobacter*, *Moraxella* e *Aeromonas* (JAY, 2005).

Os gêneros de fungos encontrados na deterioração de carnes frescas envolvem: *Thamnidium*, *Mucor*, *Rhizopus* (os três produtores de hifas nas carnes), *Cladosporium* (causa manchas negras), *Penicillium* (produz manchas verdes), *Sporotrichum* e *Chrysosporium* (ambos produzem manchas brancas) e os gêneros de leveduras encontradas em carnes refrigeradas em decomposição envolvem a *Candida* e a *Rhodotorula* (JAY, 2005).

A prática de conservação de alimentos à temperatura de refrigeração é comum para controlar o crescimento de micro-organismos, alguns agentes patogênicos, retardar reações químicas e a atividade enzimática e manter a qualidade do produto (GAVA, 2008; ALTUNATMAZ et al., 2012). No entanto, fungos e bactérias psicrotróficas são comumente associados com a deterioração de alimentos em temperaturas de refrigeração, podem ser citados os gêneros *Cladosporium*, *Sporotrichum*, *Penicillium* e *Pseudomonas*, *Achromobacter* e *Micrococcus*, respectivamente (GAVA, 2008). Os fungos predominam na deterioração dos alimentos refrigerados quando estes produtos apresentam baixa atividade de água, acidez elevada ou condições adequadas de embalagem para o seu crescimento. Fungos psicrotróficos também são comumente isolados em produtos refrigerados frescos de origem animal, frutas, produtos hortícolas e alimentos prontos para o consumo (ALTUNATMAZ et al., 2012).

Segundo Hernández-Macedo et al. (2011), a embalagem a vácuo para a carne fresca é o método mais eficiente para prolongar a vida de prateleira, preservando as características sensoriais do produto durante a refrigeração, pois o vácuo permite maior estabilidade à carne, devido ao seu poder

de reduzir o processo de oxidação e o crescimento de micro-organismos aeróbicos. Entretanto, um dos desafios recentes da indústria processadora da carne bovina é o controle da qualidade do “sopro” das embalagens de carne refrigerada a vácuo. Bactérias isoladas a partir de produtos embalados a vácuo foram analisadas por Hernández-Macedo et al. (2011) e foram caracterizadas como espécies novas ou como espécies que antes eram consideradas inofensivas. Exemplos destas bactérias incluem espécies *Clostridium*, que são capazes de crescer em anaerobiose, *Carnobacterium spp.*, *Leuconostoc carnosum*, *Leuconostoc gelidum*, *Lactobacillus sake*, *Lactobacillus curvatus* e atípica ou não identificáveis lactobacilos, *Brochothrix thermosphacta*, *Enterococcus spp.*, *Liquifaciens Serratia*, *Hafnia spp.*, *Proteus spp.* e alguns outros da família *Enterobacteriaceae* (HÉRNANDEZ-MACEDO et al., 2011). Entre as alterações encontradas que promovem a rejeição do produto, destacam-se: cor, odor indesejável e a formação de limo (HÉRNANDEZ-MACEDO, et al., 2011).

Os micro-organismos patogênicos desempenham um papel relevante em surtos de doenças transmitidas por alimentos e, entre eles, destaca-se a bactéria *Escherichia coli* O157:H7, reconhecida como um importante patógeno humano, frequentemente associada a práticas higiênicas-sanitárias inadequadas, processamento do alimento a uma temperatura indevida por

período prolongado, permitindo o desenvolvimento microbiano (YILMAZ et al., 2005).

Segundo Aymerich et al. (2008), na União Europeia há uma rigorosa legislação sanitária em vigor com critérios microbiológicos estabelecidos que devem ser cumpridos. No entanto, a prevalência de agentes patogênicos de origem alimentar e o número de casos e surtos ainda é elevado, afetando a vida pessoal, os negócios e a economia. No ano de 2005, 380.000 cidadãos europeus foram afetados por doenças zoonóticas infecciosas, 5311 surtos de origem alimentar foram relatados, envolvendo 47.251 pessoas e resultando em 5.330 hospitalizações e 24 mortes, sendo *Campylobacter* e *Salmonella* os micro-organismos relatados na maioria dos casos, seguidos por *Yersinia enterocolitica*, *Escherichia coli* enterotoxigênica (ETEC), *Listeria monocytogenes* e *Brucella mellitensis*.

Embora as estatísticas brasileiras sejam precárias, acredita-se que a incidência de doenças microbianas de origem alimentar em nosso país seja bastante elevada. Mesmo em países desenvolvidos, nos quais o abastecimento de gêneros alimentícios é considerado seguro do ponto de

vista de higiene e saúde pública, a ocorrência de doenças desta natureza é significativa, apesar dos avanços tecnológicos nas áreas de produção e controle de alimentos (CUNHA; SILVA, 2006). Ainda, a maioria dos casos de doenças transmitidas por alimentos não é notificada, apenas em alguns casos é relatada. Embora esses casos sejam elevados, praticamente não existem investigações científicas empreendidas para o isolamento de agentes etiológicos dos alimentos implicados em surtos alimentares. A Organização Mundial de Saúde estima que apenas dez por cento dos países desenvolvidos e um por cento dos países em desenvolvimento notificam os episódios que envolvem as doenças transmitidas por alimentos (VEMULA et al., 2012).

4 IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS

A radiação pode ser definida como a emissão e propagação de energia através do espaço ou de um meio material. O tipo de radiação difere em função do seu comprimento de onda, sendo os de menor comprimento os mais letais para os micro-organismos. A irradiação de alimentos é comprovadamente eficaz na conservação de muitos produtos alimentícios, embalados ou a granel, eliminando agentes patogênicos, insetos, parasitas e reduzindo o número de colônias de micro-organismos, muitas vezes constituídos por bactérias e fungos, que contribuem para a deterioração precoce de alimentos (SATIN, 2002).

A irradiação de alimentos tem sido comprovada por inúmeros autores como uma das técnicas alternativas aos métodos existentes para melhorar a qualidade higiênica, aumentar a vida de prateleira, afetar a atividade das enzimas e melhorar as propriedades funcionais de diferentes produtos alimentícios (KWON, 2012; FARKAS; MOHANCSI-FARKAS, 2011). Diversos órgãos internacionais e vários países já aprovaram o seu uso em alimentos, porém a indústria de alimentos ainda utiliza muito pouco essa tecnologia (STEFANOVA et al., 2010). No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária, através da Resolução RDC nº 21, de 26 de janeiro de 2001, dispõe o Regulamento Técnico para a Irradiação de Alimentos (ANVISA, 2001).

Os processos combinados como, por exemplo, a radiação gama com as micro-ondas, podem resultar em produtos alimentares de melhor qualidade sensorial e microbiológica, agindo de forma sinérgica, do que aqueles tratados com

métodos isolados (AZIS et al., 2002; FARKAS; MOHANCISI-FARKAS, 2011).

Segundo Farkas (1998), o processo de irradiação de alimentos pode ser comparado à pasteurização, pois é capaz de eliminar patógenos com a vantagem de não aumentar significativamente a temperatura dos alimentos tratados.

As formas de radiação ionizante, tal como os raios gama e os raios X, apresentam geralmente energia suficiente para causar danos químicos às moléculas na célula, enquanto que a radiação não ionizante como, por exemplo, as micro-ondas, não danifica as moléculas, apenas gera energia térmica, isto é, penetra no alimento onde são diretamente absorvidas e convertidas em calor, induzindo a fricção das moléculas de água e, por isso, pode se dizer que o teor de umidade do alimento influencia no aquecimento dielétrico (ZAMANIAN; HARDIMAN, 2005; FELLOWS, 2006).

A tecnologia de micro-ondas está sendo considerada promissora a nível industrial para descontaminação de produtos de carne, com economia de energia, preservando o meio ambiente enquanto reduz a contagem de micro-organismos deteriorantes e patogênicos (AYMERICH et al., 2008).

5 RADIAÇÃO MICRO-ONDAS EM CARNES

A radiação micro-ondas refere-se à propagação de ondas eletromagnéticas na gama de 300 a 300.000 mega-hertz (MHz), são caracterizadas por energia elétrica e magnética movendo-se juntas através do espaço (HONG KONG, 2005). A radiação micro-ondas pode passar através de materiais como o vidro, o papel, o plástico e a cerâmica, e ser absorvido pelos alimentos e água (VADIVAMBAL; JAYAS, 2010). Esta radiação, quando absorvida, as moléculas polares e os íons presentes no interior do alimento sofrem movimentação de acordo com o campo eletromagnético alternado e o calor é gerado, elevando a temperatura com o princípio de cozinhar o alimento (HONG KONG, 2005). A capacidade de um produto alimentar para aquecer, quando expostos à radiação micro-ondas, ocorre quando um campo elétrico oscilante é incidente sobre as moléculas de água, o solvente dipolar permanentemente polarizado tenta realinhar-se na direção do campo elétrico, devido a alta frequência deste campo que promove um realinhamento das moléculas em um milhão de vezes por segundo e faz com que o atrito interno destas resulte no aquecimento volumétrico do material (FARID;

TAHER, 2001; FELLOWS, 2006; CHANDRA-SEKARAN et al., 2013).

Há uma grande variedade de modelos de fornos de micro-ondas e todos eles compartilham os mesmos princípios, com uma fonte de potência chamada magnetron e um feixe de ondas para emitir a radiação para uma cavidade onde se encontra o produto (AYMERICH et al., 2008). O aquecimento promovido pelas micro-ondas é influenciado pelo tamanho, pela forma, pela composição, pelas propriedades dielétricas e térmicas do produto alimentar, pela composição do alimento, bem como pelo tipo de equipamento, frequência e tempo de exposição à radiação (BANIK et al., 2003; CELIS, 2001; AYMERICH et al., 2008). De acordo com a literatura, quanto às frequências utilizadas para o aquecimento por micro-ondas, destacam-se os níveis de 915 MHz e 2450 MHz, sendo a primeira mais utilizada quando se deseja atingir maior capacidade de penetração (descongelamento a nível industrial) e a segunda utilizada em fornos domésticos com várias aplicações (FARID; TAHER, 2001).

A energia das micro-ondas está recebendo uma considerável atenção dos pesquisadores para um amplo espectro de aplicações, sendo utilizada em processos industriais como uma alternativa aos métodos convencionais de processamento, já que a maioria dos trabalhos publicados utilizando esta tecnologia produziu resultados satisfatórios (BELANGER et al., 2008).

Yilmaz et al. (2005) investigaram a flora microbiana de almôndegas, armazenada a 4°C e inoculadas com cepas de *E. coli* H157: H7. As amostras foram submetidas a diferentes métodos de cocção: forno convencional, micro-ondas e grelha, dos quais os resultados demonstraram que as almôndegas submetidas ao forno de micro-ondas e grelha diminuíram de 2-3 ciclos log a flora microbiana, enquanto que *E. coli* O157: H7 foi completamente destruída pelos três métodos de cocção propostos. Também analisando a incidência da radiação de micro-ondas sobre *E. coli*, Banik et al. (2003), observaram a taxa de mortalidade da bactéria em diferentes temperaturas, onde não foi verificado a morte celular a 35°C, enquanto que a 45°C, 47°C e 50°C, as taxas de mortalidade foram maiores que as obtidas na esterilização convencional à mesma temperatura.

Borba et al. (2013) analisaram a qualidade físico-química de hambúrgueres de carne bovina e de frango submetidos a diferentes tratamentos térmicos: cozimento em micro-ondas, forno convencional e fritura em óleo. As característi-

cas analisadas foram: composição centesimal e rendimento, percentual de perda de peso e grau de encolhimento (retração) e observou-se que as amostras dos dois tipos de hambúrgueres expostos ao forno de micro-ondas apresentaram os maiores percentuais de perda de umidade, peso e maior grau de retração. Em razão da perda de umidade, os percentuais de gordura, proteína e cinzas foram maiores no tratamento micro-ondas para o hambúrguer de frango. No hambúrguer de carne bovina foi observado o maior percentual de proteínas e cinzas no tratamento com micro-ondas, enquanto que o maior percentual de lipídios foi encontrado no tratamento com fritura em óleo.

Aziz et al. (2002) analisaram o efeito da combinação da irradiação gama e do tratamento com micro-ondas, sobre os micro-organismos presentes, e seu crescimento na carne bovina fresca, fatiada e moída, armazenada a 5°C. As amostras de carne apresentaram contagem bacteriana inicial de $4,9 \times 10^6$ UFC /g e foram expostas a raios gama nas doses de 1,0, 3,0 e 5,0 kilogray (kGy), e tratamento com micro-ondas nos tempos de 10, 20 e 30 segundos. Na exposição à dose de 5,0 kGy de irradiação a contagem bacteriana foi reduzida por 2-3 ciclos log e, quando aquecidas em forno de micro-ondas (atingindo as temperaturas de 45°C, 65°C e 85°, respectivamente, no interior das amostras), as contagens bacterianas foram reduzidas em 1 ciclo log em 20 segundos, e por 2 ciclos log de 30 segundos de exposição. Nenhuma *Pseudomonas*, coliformes totais, fecais e estafilococos coagulase positiva foi detectada nas amostras de carne bovina submetidas a 20 segundos de exposição às micro-ondas. As amostras não tratadas apresentavam um período de vida útil inferior a 7 dias, enquanto as amostras que foram irradiadas com uma dose de 3 kGy e, em seguida, aquecida em forno de micro-ondas durante 20 segundos apresentaram uma vida de prateleira de pelo menos 2 semanas armazenadas a 5°C.

Göksoy et al. (2000) utilizaram um equipamento doméstico de micro-ondas (2450 MHz) para verificar seus efeitos por 10, 20 e 30 segundos de exposição à radiação, com objetivo de descontaminar peito de frango, sem pele, sem causar o cozimento dos mesmos. O estudo consistiu em analisar amostras não inoculadas (análise de contagem total de micro-organismos viáveis) e inoculadas com cepas de *E. Coli K12* e *Campylobacter jejuni* em 140-150g de peito de frango sem pele e submetê-las à radiação de micro-ondas, individualmente, nos tempos propostos. As temperaturas das amostras foram verificadas antes e após a exposição à radi-

ção, onde se observou que a temperatura média da superfície das amostras antes foi de 17°C, as temperaturas médias da superfície após 10s de exposição foi de 25,2°C; após 20s foi de 34,1°C e após 30s de 39°C. O aumento gradativo da temperatura foi consequência do aumento do tempo de exposição à radiação, o que influenciou no aspecto dos peitos de frango, pois apenas o tempo de 10s não apresentou efeitos na aparência das amostras, enquanto que as submetidas aos tempos de 20s e 30s demonstraram sinais de cozimento parcial nas extremidades dos peitos de frango.

Quanto ao aspecto microbiológico, com a exceção de dois casos, amostra inoculada com cepa de *C. jejuni* e amostra controle (contagem total de micro-organismos viáveis), após o tratamento de 10s, todos os outros resultados microbiológicos foram ligeiramente, mas não significativamente, ao nível de 5% de significância ($P > 0,05$), superiores após o tratamento com as micro-ondas. Não foi encontrada diferença significativa ($P > 0,05$) entre o período de vida útil das amostras tratadas e não tratadas armazenadas a 30C (GÖKSOY et al., 2000). Os resultados microbiológicos deste trabalho não foram significativos em relação aos encontrados por Azis et al. (2002), isto pode ser justificado pelo uso combinado das radiações de micro-ondas (não ionizante) e radiação gama (ionizante), proposto pelo autor para analisar os efeitos desta combinação na carne bovina fresca.

A submissão de peito de frango a curto tempo de exposição, até 30s, às micro-ondas (2450 MHz) não apresentou nenhum efeito bactericida significativo e não aumentou o prazo de validade da carne de frango tratada. Os resultados deste estudo indicam que o forno de micro-ondas como método isolado é irreproduzível e desigual para tratar a superfície da carne de frango (GÖKSOY et al., 2000).

6 OUTRAS APLICAÇÕES DAS MICRO-ONDAS

As micro-ondas apresentam distintas aplicações na área de tecnologia e processamento de alimentos, tais como descongelamento, secagem, pasteurização, descontaminação e desinfecção de utensílios e, mais convencionalmente, o cozimento dos alimentos (AYMERICH et al., 2008; SHARMA et al., 2008; VADIVAMBAL; JAYAS, 2010).

As micro-ondas podem descongelar rapidamente um pequeno pedaço de carne, mas as dificuldades surgem com grandes massas de carne

congelada utilizadas nos processos industriais (FARID; TAHER, 2001). Uma das limitações do descongelamento consiste no fato de não ocorrer de maneira uniforme e por cozinhar algumas partes da carne enquanto outras permanecem congeladas (FARID; TAHER, 2001). No descongelamento doméstico de produtos congelados, é preciso verificar a uniformidade do aquecimento após o preparo, principalmente dos alimentos que contém carnes cruas, como a carne suína, a bovina e a de aves que são potencialmente contaminadas com patógenos de origem alimentar (HUANG; SITES, 2010).

Farid e Taher (2001) desenvolveram um modelo (matemático) piloto para prever a distribuição de temperatura em amostras de carne congeladas, de diferentes espessuras, quando submetidas a um forno de micro-ondas de aquecimento cíclico. Os estudos mostraram que o processo de aquecimento começa a partir da superfície e progride lentamente para a parte inferior da amostra, por isso a absorção de micro-ondas em posições próximas da superfície é maior no descongelamento de carnes. O modelo de computador foi baseado num modelo desenvolvido anteriormente para a fusão e a solidificação de material em mudança de fase.

Os resultados de Farid e Taher (2001) mostraram que é possível descongelar a carne, em condições controladas, de maneira que a sua temperatura superficial nunca exceda a 10°C, a um tempo de descongelamento inferior a um quinto do que é exigido no descongelamento convencional.

Pesquisadores analisaram as aplicações potenciais da secagem assistida por micro-ondas em diversas áreas, com ênfase na preservação de alimentos através da desidratação. Para superar as limitações do ar quente de secagem, foram propostos métodos que combinam a energia de micro-ondas com a tecnologia convencional de secagem por ar quente, resultando em um produto com o teor de umidade difundindo-se para a superfície mais rapidamente, permitindo um menor tempo de secagem em comparação com os sistemas convencionais e melhorando a qualidade do produto seco (BÉLANGER et al., 2008).

Zhenfen et al. (2010) desenvolveram um sistema de secagem de maçã em micro-ondas (600 MHz) com a capacidade de controle automático de temperatura. Foram testados quatro diferentes modos de secagem com diferentes combinações de controles de temperatura e de potência, o mais adequado para o processo resultou no controle de temperatura com perfis pré-definidos de potência variável que resultou em um produto de melhor

qualidade e temperatura consistente. Bélanger et al. (2008) sugerem o uso de amostras pré-desidratadas para melhorar a eficiência global do processo, pois o teor de umidade inicial influencia no processo de secagem assistida por micro-ondas e pode afetar a qualidade do produto seco.

A pasteurização com o uso da radiação de micro-ondas tem a capacidade de destruir os micro-organismos a temperaturas menores que a de pasteurização convencional, devido à melhoria ou ao aumento de efeitos térmicos significativos (RAMPELOTTO, 2012), confere uma qualidade superior ao produto e reduz o tempo de exposição à energia (CELIS et al., 2002). O método convencional de pasteurização envolve o tratamento com aquecimento em água quente ou vapor, como o calor favorece a inativação de bolores e bactérias, o uso de radiação micro-ondas como fonte de energia tornou-se um atrativo campo de estudo devido o seu aquecimento rápido e eficiente (CHANDRA-SEKARAN et al., 2013).

Celis et al. (2002) analisaram suco de maçã inoculado com cepas de *Escherichia coli* após a exposição às micro-ondas de um equipamento convencional (2450 MHz). O estudo consistiu em determinar o efeito da pasteurização em diferentes níveis de potência (270W, 450W, 720 e 900W) e tempos (40s, 50s, 60s e 90s) sobre a qualidade microbiológica do suco de maçã. Os resultados obtidos foram comparados com a pasteurização convencional (83°C por 30s), que demonstraram que a pasteurização com micro-ondas do suco de maçã nas potências de 720W e 900W por 60s e 90s resultaram em uma redução de 2-4 logs da população de *E. coli*. A pasteurização com micro-ondas permite uma redução no tempo morno e preserva as características organolépticas naturais do suco (CELIS et al., 2002).

Apesar de diversos trabalhos visando à ampla aplicação experimental e industrial da radiação micro-ondas, alguns pesquisadores analisam o uso e as vantagens desta no ambiente doméstico.

Sharma et al. (2009) utilizaram como tratamentos de desinfecção de esponjas de cozinha: 10% de água sanitária, suco de limão (pH 2,9), água fervente, máquina de lavar louça para ciclo de lavagem cheias, forno de micro-ondas por 1 minuto e uma amostra sem tratamento para verificar a redução microbiana das esponjas. Os resultados demonstraram que o forno de micro-ondas e a máquina de lavar louça reduziram significativamente ($P < 0,05$) as contagens bacterianas aeróbicas ($< 0,4$ log e 1,6 log UFC/esponja, respectivamente) mais do que os outros tratamentos químicos ou

de controle (7,5 UFC/esponja), sugerindo que estes dois equipamentos convencionais podem eliminar agentes patogênicos de origem alimentar no ambiente doméstico. Concordando com este estudo, Rossi (2010) afirma que panos e esponjas de cozinha são importantes difusores de patógenos, favorecendo a contaminação cruzada dos alimentos, pois diversas pesquisas revelaram que nas esponjas utilizadas nos processos de limpeza e desinfecção de superfícies, equipamentos e utensílios de cozinha foram encontrados coliformes totais e termotolerantes, *E. coli*, *S. aureus*, *Salmonella sp*, *Enterobacter cloacae*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas*, *fungos filamentosos e leveduras*.

A facilidade e a conveniência da utilização dos fornos de micro-ondas domésticos nos países industrializados é uma prática permanente e está aumentando em um ritmo acelerado nos países em desenvolvimento. A mudança de atitude e o estilo de vida dos consumidores resultam, cada vez mais, na procura por produtos congelados para o preparo no forno de micro-ondas, pois o aquecimento é mais rápido em relação ao método convencional de cozimento dos alimentos (VADIVAMBAL; JAYAS, 2010).

Lakshmi et al. (2007) compararam o consumo de energia e a eficiência do cozimento de arroz em forno de micro-ondas, panela elétrica de arroz e uma panela de pressão. A mistura de arroz e água foi aquecida até 100°C e, após a interrupção da alimentação de 5 minutos, o aquecimento foi retomado. A comparação dos resultados demonstrou que o cozimento do arroz no forno de micro-ondas resultou em um menor tempo de preparo do que os outros métodos, o teor de umidade foi uniforme, exceto na superfície onde ocorre certa evaporação, enquanto que a panela de arroz elétrica foi a mais eficiente em consumo de energia.

7 CONCLUSÕES

A carne fresca é um produto altamente perecível devido à sua composição química e outros fatores inter-relacionados, favoráveis ao crescimento e propagação de micro-organismos que influenciam a vida de prateleira e frescor da carne. Com o aumento da demanda por carnes frescas e produtos de qualidade, as tecnologias de preservação alternativas, como a radiação de micro-ondas, têm sido investigadas e adotadas. Muitos trabalhos apresentaram resultados satisfatórios com o uso das micro-ondas, assim

como a combinação desta com outros métodos de conservação. No entanto, os benefícios e as limitações desta tecnologia devem ser revisados e discutidos antes da sua adoção.

Além de entender os benefícios e as limitações do método, é necessário ainda compreender os efeitos produzidos pelas micro-ondas nos micro-organismos, na atividade enzimática, na interação com os constituintes dos alimentos, para, então, otimizar a aplicação dessa inovação na indústria de alimentos sem acarretar em perdas para o produto.

Por se tratar de uma literatura atual, acreditamos que muitas pesquisas devem ser realizadas para esclarecer tópicos contraditórios entre alguns trabalhos publicados e seria interessante, também, se as indústrias de alimentos estabelecessem parcerias com as instituições de pesquisa, buscando uma renovação tecnológica nos seus processos de produção e qualidade.

REFERÊNCIAS

- ALTUNATMAZ, S. S.; ISSA, G.; AYDIN, A. Detection of Airborne Psychrotrophic Bacteria and Fungi in Food Storage Refrigerators. *Brazilian Journal of Microbiology*, p.1436-1443, 2012.
- ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução - RDC nº 21, de 26 de janeiro de 2001. Regulamento Técnico para a Irradiação de Alimentos. *Diário Oficial da União*, 29/01/2001, seção 1, p. 35. Brasília, DF.
- AYMERICH, T.; PICOUET, P. A.; MONFORT, J. M. Decontamination technologies for meat products. *Meat Science*, v. 78, p. 114-129, 2008.
- AZIS, N. H.; MAHROUS, S. R.; YOUSSEF, B. M. Effect of gamma-ray and microwave treatment on the shelf-life of beef products stored at 5°C. *Food Control*, v. 13, p. 437-444, 2002.
- BANIK, S.; BANDYOPADHYAY, S.; GANGULY, S. Bioeffects of microwave: a brief review. *Biore-source Technology*, v. 87, p. 155-159, 2003.
- BÉLANGER, J. M.; PARÉ, J. R.; POON, O.; FAIRBRIDGE, C. N. S.; MUTYALA, S.; HAWKINS, R. Remarks on various applications of microwave energy. *Journal Microwave Elettromagnetic Energy*, v. 42, p. 24-44, 2008.

- BORBA, C. M.; OLIVEIRA, V. R.; MONTENEGRO, K. R.; HERTZ, P. F.; VENZKE, J. G. Avaliação físico-química de hambúrguer de carne bovina e de frango submetidos a diferentes processamentos térmicos. *Alimentos e Nutrição. Brazilian Journal of Food and Nutrition*, Araraquara, v. 24, n. 1, p. 21-27, jan./mar. 2013.
- BRESSAN, M. C.; PRADO, O. V.; PÉREZ, J. R. O. Efeito do peso ao abate de cordeiros Santa Inês e Bergamácia sobre as características físico-químicas da carne. *Ciência Tecnologia de Alimentos*, v. 21, n. 3, p. 293-303, 2001.
- CARDOSO, T. G.; CARVALHO, V. M. Toxinfecção alimentar por *Salmonella* spp. *Revista do Instituto de Ciências da Saúde*, v. 24, p. 95-101, 2006.
- CELIS, J. E. et al. Pasteurisation of Apple Juice by Using Microwaves. *Food Science & Technology*, v. 35, p. 389-392, 2002.
- CHANDRASEKARAN, S.; RAMANATHAN, S.; BASAK, T. Microwave food processing: A review. *Food Research International*, v. 52, p. 243-261, 2013.
- CUNHA, M. A.; SILVA, M. R. Métodos de detecção de micro-organismos indicadores. *Saúde & Ambiente em Revista*, v.1, p. 09-13, 2006.
- ELLIS, D. I.; GOODACRE, R. Rapid and quantitative detection of the microbial spoilage of muscle foods: current status and future trends. *Trends in Food Science and Thechnology*, v. 12, n. 11, p. 414-424, 2001.
- FARID, M. M.; TAHER, B. J. Cyclic microwave thawing of frozen meat: experimental and theoretical investigation. *Chemical Engineering and Processing*, v. 40, p. 379-389, 2001.
- FARKAS, J. Irradiation for better foods. *Trends in Food Science & Technology*, v.17, p. 148-152, 1998.
- FARKAS, J.; MOHANCSI-FARKAS, C. History and future of food irradiation. *Trends in Science and Technology*, v. 22, p. 121-126, 2011.
- FELÍCIO, P. E. Fatores Ante e *Post Mortem* que Influenciam na Qualidade da Carne Bovina. In: *Produção de Novilho de Corte*. 1.ed. Piracicaba: FEALQ, 1997, v. Único, p.79-97.
- FELLOWS, P. J. Tecnologia do Processamento de Alimentos: Princípios e Prática. 2ª ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 2006. 602 p.
- FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. Microbiologia dos Alimentos. São Paulo: Atheneu, 1996. 182 p.
- GALARZ, L. A. Estimativa da Vida Útil em Peito de Frango em Diferentes Temperaturas de Armazenamento. 2008. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos)–Universidade Federal de Rio Grande, Rio Grande, 2008.
- GAVA, A. J. Tecnologia de Alimentos: Princípios e Aplicações. São Paulo: Nobel, 2008. 511 p.
- GÖKSOY, E. O.; JAMES, C.; CORRY, J. E. L. The Effect of Short-Time Microwave Exposures on Inoculated Pathogens on Chicken and the Shelf-Life of Uninoculated Chicken Meat. *Journal of Food Engineering*, v. 45, p.153-160, 2000.
- HÉRNANDEZ-MACEDO, M. L.; BARANCELLI, G. V.; CONTRERAS- CASTILLO, C. J. Microbial Deterioration of Vacuum-Packaged Chilled Beef Cuts and Techniques for Microbiota Detection and Characterization: A Review. *Brazilian Journal of Microbiology*, v. 42, p. 1-11, 2011.
- HONG KONG. Food and Environmental Hygiene Department. Microwave cooking and food safety, 2005.
- HUANG, L; SITES, J. New Automated Microwave Heating Process for Cooking and Pasteurization of Microwaveable Foods Containing Raw Meats. *Journal of Food Science*, v. 75, n. 2, p. 110-115, 2010.
- JAY, J. M. Microbiologia de alimentos. 6a ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 2005. 711 p.
- JAY, J. M.; VILAI, J. P.; HUGHES, M. E. Profile and activity of the bacterial biota of ground beef held from freshness to spoilage at 5-7°C. *International Journal of Food Microbiology*, v. 81, p. 105-111, 2003.
- KNOW, J.; AKRAM, K.; AHN, J. Analytical Methods for the Identification of Irradiated Foods. Nova Science Publishers, p. 1-35, 2012.
- KOBLITZ, M. G. B. Bioquímica de Alimentos: Teoria e Aplicações Práticas. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2010.

- KOUTSOUMANIS, K.; STAMATIOU, A.; SKANDAMIS, P.; NYCHAS, G. J. E. Development of a microbial model for the combined effect of temperature and pH on spoilage of ground meat, and validation of the model under dynamic temperature conditions. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 72, n. 1, p. 124-134, 2006.
- LABADIE, J. Consequences of packing on bacterial growth. Meat is an ecological niche. *Meat Science*, v. 52, n. 3, p.299-305, 1999.
- LAWRIE, R. A. *Ciência da carne*. 6. ed. São Paulo: Artmed. 2005. 384 p.
- LAKSHIMI, S. et al. Energy consumption in microwave cooking of rice and its comparison with other domestic appliances. *Journal of Food Engineering*, v. 78, p. 715–722, 2007.
- MAÑAS, P.; PAGÁN, R. Microbial inactivation by new technologies of food preservation. *Journal of Applied Microbiology*, v. 98, p. 1387–1399, 2005.
- NYCHAS, G. J.; SKANDAMIS, P. N.; TASSOU, C. C.; KOUTSOUMANIS, K. P. Meat spoilage during distribution. *Meat Science*, v. 78, n. 1-2, p.77-89, 2008.
- ORDÓÑEZ, J. A. et al. *Tecnología de Alimentos: Alimentos de Origen Animal*. 1.ed. Porto Alegre: Ed. Artmed, 2005, 279 p.
- RAMPELOTTO, C. *Pasteurização de salsichas com ultrassom e micro-ondas*. 2012. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)–Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.
- ROSSI, E. M. *Avaliação da Contaminação Microbiológica e de Desinfecção de Esponjas utilizadas em Serviços de Alimentação*. 2010. 81 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola e do Ambiente)–Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- ROÇA, R. O. *Composição Química da Carne*. Laboratório de Tecnologia dos Produtos de Origem Animal. Fazenda Experimental Lageado, F.C.A. UNESP - Campus de Botucatu, SP. [S.d].
- SHARMA, M.; EASTRIDGE, J.; MUDD, C. Effective household disinfection methods of kitchen sponges. *Food Control*. v. 20, p. 310-313, 2009.
- VEMULA, S. R.; KUMAR, R.N. POLASA, K. Foodborne diseases in India – a review. *British Food Journal*, v. 114, n. 5, p. 661-680, 2012.
- VADIVAMBAL, R.; JAYAS, D. S. Non-uniform Temperature Distribution During Microwave Heating of Food Materials: A Review. *Food Bioprocess Technol*, v. 3, p. 161–171, 2010.
- ZAMANIAN, A.; HARDIMAN, C. Eletromagnetic Radiation and Human Health: a Review of sources and Effects. *High Frequency Electronics*, p. 16 – 26, 2005.
- ZHENFENG, L.; RAGHAVAN, G. S. V.; ORSAT, V. Temperature and power control in microwave drying. *Journal Food Engineering*, v.97, p.478-483, 2010.