

REVISÃO INTEGRATIVA

IMPACTOS DA IRRADIAÇÃO GAMA EM CARNE DE PORCO

IMPACTS OF GAMMA IRRADIATION ON PORK

Giuliane Fidelis¹; Denise Sande²

1. Graduada em Biomedicina. Centro Universitário de Belo Horizonte, 2018. Belo Horizonte, MG. gjuuliiifidelis@hotmail.com
2. Doutorado em Ciências de Alimentos. UFMG, 2015. professora assistente III do Centro Universitário de Belo Horizonte - UniBH. Belo Horizonte, MG. denise.sande@prof.unibh.br

Recebido em: 06/07/2020 - Aprovado em: 28/03/2021 - Disponibilizado em: 31/07/2021

RESUMO: A irradiação de alimentos é um método de conservação de alimentos recomendado pela Organização Mundial da Saúde, normatizado mundialmente pelo Codex Alimentarius e no Brasil pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Essa tecnologia já é utilizada em alimentos presentes na dieta moderna de brasileiros. O uso da irradiação no processamento especial da carne de porco e seus derivados deve ser analisado para verificação dos padrões de qualidade do alimento. O objetivo deste trabalho é apresentar os impactos da irradiação (radiação gama) como método de controle microbiológico de carne suína e derivados. Realizou-se uma revisão integrativa do tema a partir de pesquisas em bases de dados e ferramenta de busca. Foram selecionados quarenta e três (43) materiais, incluindo artigos experimentais, de revisão e publicações em órgãos nacionais ou vinculados. A irradiação como método de controle microbiológico e extensor da vida de prateleira mostrou-se eficiente quando aplicada doses na faixa de 3 a 5 kGy, desencadeando poucas alterações nutricionais, não nutricionais e sensoriais na carne. No mais, destaca-se o potencial da combinação da irradiação com outros métodos de processamento, em especial a marinação, a fim de prolongar ainda mais a vida de prateleira e diminuir a dose segura mínima necessária para um tratamento bem-sucedido.

PALAVRAS-CHAVE: Irradiação de alimentos. Carne de porco. Radiação gama.

ABSTRACT: Food irradiation is a method of food preservation recommended by the World Health Organization, regulated worldwide by the Codex Alimentarius and in Brazil by the National Sanitary Surveillance Agency. This technology is already used in foods present in the modern diet of Brazilians. The use of irradiation in the special processing of pork and pork products should be analyzed to verify food quality standards. The objective of this article is to present the impacts of irradiation (gamma radiation) as a method of microbiological control of pork and pork products. An integrative review of the topic was carried out based on searches in databases and search tool. Forty-three (43) materials were selected, including experimental and review articles and publications in national bodies or related. Irradiation as a method of microbiological control and shelf life extensor proved to be efficient when applied doses in the range of 3 to 5 kGy, triggering few nutritional, non-nutritional and sensorial changes in the meat. Furthermore, the potential of combining irradiation with other processing methods, especially marination, is highlighted in order to further extend shelf life and decrease the minimum safe dose required for successful treatment.

KEYWORDS: Food irradiation. Pork. Gamma radiation.

1 . INTRODUÇÃO

O hábito de consumir carne suína está presente na humanidade a muito tempo (desde aproximadamente 5000 anos a.c), sendo ela uma das fontes de proteína mais antigas. A ingestão desse alimento ainda é bastante significativa, como demonstrado no relatório da Associação Brasileira de Proteína Animal (2020), que revela que cerca 15,3 Kg de carne de porco foram consumidos por cada habitante brasileiro, em 2019. A variedade de produtos derivados de um mesmo animal possibilita maior adesão dos consumidores a essa prática alimentar. Além disso, este insumo é amplamente utilizado em rações militares (ANELLIS *et al.*, 1972).

A produção da carne suína e seus derivados é extremamente importante para a economia do país, visto que nos anos de 2017, 2018 e 2019 foram arrecadados mais de 4.400 milhões de dólares na suinocultura brasileira (ABPA, 2020). Além da importância econômica, a carne de porco possui também grande importância nutricional, uma vez é a fonte de proteína de muitas famílias brasileiras e é composta por ácidos graxos monoinsaturados, vitaminas do complexo B e muitas proteínas (MAGNONI; PIMENTEL, 2007).

Apesar da grande produção desse tipo de insumo, assim como qualquer alimento, o seu consumo pode ser suspenso caso não esteja de acordo com os padrões de segurança alimentar. A inutilização de alguns alimentos deve-se à ação de microrganismos sobre eles, causando deterioração e impossibilitando o consumo (BAPTISTA *et al.*, 2005). A contaminação por microrganismos pode ainda ocasionar doenças humanas.

As doenças transmitidas por alimentos (DTA's) acometem um grande número de pessoas gerando sinais e sintomas como parecidos com gripes, vômitos e diarreia. Elas são causadas pelo consumo de água e/ou alimentos contaminados com agentes químicos e principalmente por microrganismos patogênicos (AMSON *et al.*, 2006).

Existem métodos e programas que visam diminuir a contaminação em alimentos. Dentre eles estão as Boas Práticas de Produção (BPP), Análise dos Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC)(CARDOSO *et al.*, 2008) além de controles de temperatura (refrigeração, congelamento), da desidratação, o uso de conservas, embalagem em atmosfera modificada e irradiação (MANTILLA *et al.*, 2010). Esse último tem se mostrado revolucionário no âmbito da conservação de alimentos, tendo inúmeras vantagens, dentre elas a capacidade de inativar patógenos em alimentos crus e congelados (ORNELLAS *et al.*, 2006).

Esse trabalho tem como objetivo apresentar os efeitos da irradiação com raios gama em carne suína e seus derivados, considerando impactos nutricionais, bromatológicos e microbiológicos.

2 . METODOLOGIA

Realizou-se uma revisão integrativa sobre os efeitos do tratamento da carne de porco por irradiação do tipo gama. As buscas foram realizadas pelas bases de dados bibliográficas Periódicos Capes, PubMed Central, PubMed, Lilacs, Scielo e BIREME e pela ferramenta de busca Google. Ao finalizar as pesquisas os materiais duplicados foram excluídos.

Quanto à busca em base de dados, foram

selecionados artigos escritos em inglês ou português. Quando em português, os descritores utilizados foram: "irradiação de alimentos", "raios gama" e "carne" e quando em inglês: "food irradiation", "swine", "pork" e "gamma". Foram incluídos todos os artigos originais com delineamento experimental que se tratava do uso da irradiação gama no tratamento de carne de porco em qualquer estado de preparo (Incluindo carne de porco moída, salsicha de porco, carne de porco crua e presunto), tratamento prévio (Incluindo tratamento térmico, salino ou por marinação) e uso ou não de atmosfera modificada, além de artigos de revisão sobre o uso de irradiação gama no tratamento de alimentos em geral. A relevância do conteúdo foi analisada através da leitura do resumo e texto na íntegra, quando necessário.

Quanto à pesquisa pelo Google Acadêmico, foram utilizadas as seguintes palavras-chave: irradiação de alimentos, carne de porco, radiação gama, irradiação no Brasil e história da irradiação. Selecionando, assim, artigos de delineamento experimental e de revisão e publicações em jornais online, além de publicações dos seguintes órgãos nacionais ou vinculados: Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA), Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) que é vinculada ao Ministério da Saúde.

Esse material foi selecionado a fim de estabelecer contexto legislativo e histórico, tanto nacional quanto internacional, da radiação, irradiação e do consumo e comércio de suínos. Além de esclarecer o processo de irradiação de alimentos.

Com o intuito de garantir maior recuperação de referências não houve delimitação de tempo quanto aos artigos de delineamento experimental. Já quanto

aos artigos de revisão, foram selecionados apenas os publicados entre 2010 e 2019.

3 . RESULTADOS

A partir da busca de artigos foi possível perceber que a irradiação é um tema ainda pouco pesquisado e que as informações sobre os seus benefícios ainda não têm revertidos em benefícios do uso dessa técnica para a população brasileira. Percebeu-se que a maior parte dos artigos encontrados são experimentais (Figura 1) e abordam o tema da irradiação em um contexto de controle microbiológico e de esterilização do alimento (Figura 2).

Tabela 1 - Seleção dos artigos por base de dados

Base de dados	Artigos selecionados		Total de artigos	
	Por descritores	Após leitura na íntegra	Delineamento experimental	Revisão bibliográfica
BIREME	27	8	6	2
PubMed Central	63	5	4	1
PubMed	27	10	10	0
Periódicos Capes	2	0	0	0

Fonte: Arquivo pessoal, 2021.

Tabela 2 – Classificação dos artigos obtidos pelas

bases de dado por tema abordado

Tema abordado	Número de artigos	Ano de publicação
Controle microbiológico	18*	7 entre 1953 e 1999, 8 entre 2000 e 2017 e 3 de 2019
Aspectos nutricionais	5*	1999, 2006, 2016 e 2019
Aspectos não nutricionais	3*	2002, 2003 e 2018
Análise sensorial	4*	1999, 2006, 2016 e 2019

*Contém artigo(s) que aborda mais de um tema

Fonte: Arquivo pessoal, 2021.

4 . DISCUSSÃO

4.1. IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS

Roentgen descobriu os raios-X em 1895, que entusiasmou muitos cientistas da época a voltarem suas pesquisas para o assunto (CNEN, 2015). A evidenciação de outras radiações foi realizada por Henri Becquerel, mesmo que de forma acidental e sem muita interpretação naquela época (MARTINS *et al.*, 1990). Com o seguimento dos estudos foram elucidadas outros três tipos de radiação: α , β e γ . Sendo as duas primeiras partículas e última, uma onda eletromagnética (FIOCRUZ, 2003).

Com o avanço das pesquisas e em um momento de guerra, foram criadas bombas atômicas. Esse foi o primeiro contato de grande parte da população com o termo radiação, que causou muito alvoroço e pavor quanto ao tema (BORGES *et al.*, 2014). Apesar disto, a radiação atualmente tem um amplo campo de atuação, como o uso da energia nuclear para geração

de energia, na esterilização de equipamentos médicos, na medicina nuclear, em radiofármacos, aplicações na agricultura, na indústria, na irradiação de alimentos (CNEN, 2012).

Na prática de irradiação de alimentos há exposição dos alimentos a radiação ionizante. As radiações comumente utilizadas são raios gama, feixe de elétrons e raios-x, provenientes de fontes radioativas como Cobalto 60 e Césio 137 (VENTURA *et al.*, 2010). Para realização do procedimento é necessária estrutura especial, que cumpra os requisitos presentes na RDC nº 21 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), sendo licenciada mediante expedição de Alvará Sanitário, autorização da Comissão Nacional de Energia Nuclear e cadastramento em órgão competente do Ministério da Saúde (ANVISA RDC21, 2001). Essa estrutura geralmente é composta por sala de irradiação com paredes espessas contendo chumbo, mecanismo automatizado de movimento da fonte radioativa, sensores de radiação, irradiador central com fonte radioativa contendo poço de água, mesas rotativas, sistema de alarme, dentre outros equipamentos.

A unidade de radiação utilizada é o Gy (gray), que indica que foi dissipado um joule de energia em um Kg do alimento. As doses são classificadas como baixas (menores que 1 kGy), médias (1-10kGy) e altas (maiores que 10 kGy) (VENTURA *et al.*, 2010). Mesmo quando utilizadas doses altas o processo é considerado seguro e uma forma de esterilização limpa (GASPAR *et al.*, 2019). Para que um alimento atinja a quantidade de kGy necessários deve ser feito cálculo do tempo de exposição, visto que uma certa quantidade de kGy são emitidas pela fonte radioativa por determinado tempo.

Para cada dose aplicada é esperado resultado específico de acordo com dados da literatura. Para

inibição de ação enzimática são utilizados certa dose de 0,1 kGy, para eliminação de ovos, larvas de parasitos e insetos 1kGy, para redução ou extinção completa da carga microbiana as doses variam entre 1 e 10 kGy. Doses superiores a 10 kGy são utilizadas em rações especiais para militares e pacientes imunodeprimidos, no tratamento de rações animais e na descontaminação de condimentos e especiarias. (AGEITEC/EMBRAPA, 2008). Há também indícios de que esse processo se torna mais eficiente quando combinado a outras técnicas de controle microbiológico (OLUGU *et al.*, 2019).

O procedimento é normatizado mundialmente pelo Código Internacional recomendado para o tratamento dos alimentos por irradiação, estabelecido pelo Codex Alimentarius. No Brasil, a normatização é realizada pela ANVISA, que limita o uso de doses mínimas e máximas a serem utilizadas, sendo que o objetivo seja cumprido com a menor dose absorvida possível e a maior dose absorvida não seja capaz de gerar alterações que comprometam as propriedades funcionais e sensorias de alimento (ANVISA RDC21, 2001).

Ação dessa técnica em alimentos ocasiona modificações moleculares, principalmente em células vegetais e microbianas. Como meio de controle microbiológico essa tecnologia age através da radiólise, liberando radicais livres que atingem componentes celulares importantes. Os lipídeos de membrana quando atingidos sofrem alterações que modificam a permeabilidade de membrana e a atividade de enzimas de membrana. Os ácidos nucleicos, principal alvo da irradiação, podem ter rompidas suas ligações dependendo da quantidade de energia utilizada (VENTURA *et al.*, 2010).

A conservação de alimentos por meio da irradiação é recomendada pela Organização Mundial de Saúde

(OMS), Organização para Agricultura e Alimentação (FAO) (OLIVEIRA *et al.*, 2012). Essa tecnologia já vem sendo utilizada, mesmo que de maneira discreta, mas em situações importantes, como na comida de astronautas, desde missões como a Apollo 12 (Jiang *et al.*, 2019). Cerca de 40 países já são adeptos a essa prática, como EUA, Argentina, Brasil, Chile, México, China. Dentre os alimentos comumente irradiados estão especiarias, vegetais frescos, ração animal, grãos, frutas, carnes, frutos do mar (MODANEZ, 2012). Há também alimentos processados e irradiados amplamente consumidos, como condimentos de macarrão instantâneo e ingredientes de batatas chips.

Os alimentos que contém algum insumo irradiado devem ter presente em sua embalagem rotulagem específica para alimentos irradiados ou a frase "ALIMENTO TRATADO POR PROCESSO DE IRRADIAÇÃO". (ANVISA RDC21, 2001).

Essa tecnologia tem chamado atenção por inúmeras vantagens, como poucas alterações sensoriais induzidas no alimento, a não utilização de aditivos químicos, o fato de poder ser utilizada em alimentos já embalados e por ser um processo mecanizado. Além disso, não é necessário alterar a temperatura do alimento durante o processamento, o qual possui ainda baixo custo de energia e operacional, causa poucas alterações nutricionais (menores ou similares a outros métodos de conservação), provoca retardamento dos processos de brotamento e amadurecimento, aumentando a vida de prateleira do alimento (SILVA *et al.*, 2014). Além disso, apresenta ser uma forma prática para garantir a segurança alimentar (RAVINDRAN *et al.*, 2019).

É importante ressaltar que, apesar da crença da população leiga, o alimento irradiado não se torna radioativo, visto que não são geradas reações a nível

atômico (LEVY *et al.*, 2020). Entretanto há relatos de desvantagens do uso dessa metodologia, dentre elas instalações de alto custo, que para o retorno do investimento necessita de grande número de alimentos tratados por esse processo. Além disso, o desconhecimento dos possíveis consumidores sobre o assunto, que acarreta na diminuição da comercialização de alimentos irradiados (CNEN, 2010). Apesar de estudos demonstrarem interesse em informações sobre esse processo em população com maior grau de instrução (GALATI *et al.*, 2019).

4.2. CONTROLE MICROBIOLÓGICO

A irradiação gama é reconhecidamente eficiente na esterilização e controle microbiológico em carne suína e derivados (GOULD; GOMBERG; BETHELL, 1953). Contudo, espécies e cepas variadas de microrganismos, além de condições de armazenamento e processamento diferentes, também produzem resultados variados.

Além de microrganismos, a irradiação também afeta micro e macroparasitas que possam hospedar a carne. A pequena dose de 0,3 kGy mostrou-se suficiente para diminuir em 19% a capacidade de invaginação de metástodes ativos de *Taenia solium* e em 17,76% sua capacidade de infecção (FLORES-PÉREZ *et al.*, 2006).

Já se tratando de bactérias em geral inoculadas artificialmente em derivados suínos, observa-se a necessidade de doses mínimas de irradiação entre 3 e 5 kGy para descontaminação total, contudo, a utilização de ácido ascórbico juntamente a irradiação é conclusivamente mais efetiva não só aumentando a vida de prateleira dos produtos, mas também, potencialmente, diminuindo a faixa mínima de irradiação necessária para uma descontaminação

bem-sucedida (BYUN *et al.*, 1999. FARKAS; ANDRASSY, 1993).

Notoriamente, a dose pequena de 1 kGy é suficiente para reduzir a não detectável a população de *Escherichia coli* em lombo de porco artificialmente contaminado quando combinada com 24 horas de marinação pré-irradiação, mesmo após 28 dias de incubação a 4 °C após a irradiação (FADHEL, *et al.*, 2016. RAJKOWSKI; NIEBUHR; DICKSON, 2016). Resultados idênticos acometem a população de *Salmonella Paratyphi* na mesma condição. Porém, quando testada a carne de porco moída não marinada e, especificamente, a cepa DT 104 da *Salmonella Paratyphi*, até mesmo a dose de 3,4 kGy é incapaz de exterminar totalmente o microrganismo. De toda maneira, observa-se uma curva de sobrevivência caracterizada por um gráfico linear decrescente como esperado (FADHEL *et al.*, 2016. RAJKOWSKI; NIEBUHR; DICKSON, 2016). A *Salmonella enterica subsp* também apresenta radiosensibilidade variável dentre cepas diferentes quando analisada em solução salina de caldo de carne de porco e urânio (VIĆENTIJEVIĆ *et al.*, 2017).

Assim como para a *E. coli*, 1 kGy também é suficiente para eliminação completa de populações de *Yersina sp* quando naturalmente presente em derivados suínos mesmo após 3 semanas a 4 °C. Contudo, quando há contaminação artificial das carnes, é necessária dose mínima de 3 kGy a fim de garantir a descontaminação (KAMAT *et al.*, 1997).

Em contrapartida, a bactéria *Listeria monocytogenes*, que é conhecida por ser resistente a métodos de processamento especial, requer dose mínima na faixa de 2,5 a 3,0 kGy para esterilização total quando inoculada em carne de porco moída ou inteira independente da temperatura de armazenamento (MENDONCA *et al.*, 2004. BARI *et al.*, 2006). No mais,

cepas de *L. monocytogenes* previamente isentas de nutrientes e selecionadas quanto a resistência à falta de alimento após dez dias apresentaram considerável prevalência populacional a 2,5 kGy (MENDONÇA *et al.*, 2004).

Apesar da resistência do microrganismo, a irradiação a 1,5 kGy combinada com o uso de nisina, orégano ou canela é suficiente para descontaminação total de amostras de presunto seladas a vácuo após apenas 3 dias de incubação em comparação a 21 dias dentre amostras tratadas com nisina, orégano ou canela, mas não irradiadas (HUQ *et al.*, 2015).

Similarmente, amostras de lombo marinado contaminado com *Clostridium sporogenes* são tornadas estéreis a 1 kGy após 7 dias de incubação e até o 28º dia. O *C. sporogenes* mostra-se resistente a irradiação, porém, particularmente sensível à acidificação do meio reforçando a importância da combinação de métodos contra microbiota resistente (FADHEL *et al.*, 2016).

Já quanto a esporos da bactéria *Clostridium botulinum* inoculados em amostras enlatadas, observa-se a necessidade da aplicação de doses altas de irradiação entre 17,5 e 40 kGy. Enlatados de salsicha de porco contaminados com 10^6 esporos e incubados a 30 °C por 3 meses são tornados totalmente livres de deterioração, produção de gás, presença de esporos ativos e toxinas tanto do tipo A quanto B quando irradiados a no mínimo 17,5 kGy (ANELLIS *et al.*, 1972). Por outro lado, enlatados de lombo de porco em condições similares, porém, incubados por 6 meses a 30 °C e inoculados por 10^7 e 10^9 esporos por lata necessitam de 32 e 40 kGy respectivamente afim de garantir segurança (ANELLIS *et al.*, 1977. ANELLIS *et al.*, 1969). Observa-se, também, a tendência de esporos de *Clostridium Botulinum* de exibirem um fenômeno de “cauda” na curva de

sobrevivência onde após considerável decaimento populacional, doses subseqüentes de irradiação de até 90 kGy deixam de afetar a prevalência microbiológica (ANELLIS; GRECZ, BERKOWITZ, 1965). Tal fenômeno se repete dentre cepas de *Yersina sp* exceto quando a amostra contaminada é uma carne rica em sais ou nitrito como salsicha ou presunto de porco, possivelmente devido à ação antimicrobiana desses ingredientes (KAMAT *et al.*, 1997).

4.3. ASPECTOS NUTRICIONAIS

Apesar das inúmeras vantagens do uso da irradiação, é possível evidenciar alterações nutricionais nos alimentos que passam por esse tipo de tratamento. Elas podem variar de acordo com a dose e/ou características bioquímicas dos alimentos. Em geral, podem ser atingidos carboidratos, lipídeos, vitaminas, enzimas e proteínas. Tratando-se de carne suína foram observadas principalmente modificações na estrutura lipídica (VENTURA *et al.*, 2010).

Segundo Bari *et al.* (2006) a oxidação lipídica pode ocorrer em carnes irradiadas em doses mais altas, como as acima de 3 kGy e quando armazenadas em baixas temperaturas. Para Fadhel *et al.* (2016) a oxidação lipídica é evidenciada a partir de doses de 1,5 kGy, entretanto o nível de oxidação se mantém estável até o 14º dia de armazenamento a 4 °C, enquanto amostras irradiadas com apenas 1 kGy no 14º dia de armazenamento em mesma temperatura apresentaram aumento considerável do nível de degradação de lipídeos. Nas análises de alimentos irradiados deve-se atentar ao estado inicial das amostras, visto que o tratamento em questão não consegue impedir processos de deterioração já iniciados, independente da dose aplicada (CNEN, 2012)

O uso de aditivos na amostra pode diminuir os riscos de alterações lipídicas. Como o uso de um conjunto de ervas consideradas “marinadas”, que de acordo com Fadhel *et al.* (2016) por possuírem agentes antioxidantes impossibilitam a oxidação lipídica em doses de 3 kGy. Há também a utilização de nitrito na concentração 200 ppm que dificulta a modificação lipídica em doses de até 3 kGy, como evidenciado por Byun *et al.* (1999).

Além disso, pode haver diminuição da concentração de vitaminas B1 e B2. A queda de B1 é observada entre doses mais baixas a 3 kGy. Já B2, com maior resistência a radiação, sofre queda em doses a partir de 3 kGy. Quando marinadas as amostras, não houve redução de B1 e B2 segundo Fadhel *et al.* (2016), evidenciando que a técnica de irradiação de alimentos pode ser aperfeiçoada quando associada ao uso de outras metodologias.

4.4. ASPECTOS NÃO NUTRICIONAIS

Os níveis de nitrito e N-nitrosaminas, como N-nitrosodimetilamina (NDMA) e N-nitrosopirrolidina (NPYR) foram monitorados por alguns autores em derivados de carne suína após serem tratadas por irradiação gama e em diferentes embalagens de armazenamento. De acordo com Jooahn *et al.* (2002) há diminuição de nitrito na concentração de 75 ppm quando exposto a 5 kGy. É reduzido também o nitrito em concentração 150 ppm em 10 kGy, sendo a maior redução constatada em 20 kGy em ambas as concentrações de nitrito e em embalagens aeróbias e a vácuo. A embalagem a vácuo mostrou-se mais apta para o armazenamento de salsichas com redução da concentração de nitrito.

Os níveis de N-nitrosaminas variam de acordo com a concentração de nitrito e a dose aplicada. A dose 20

kGy mostrou-se mais eficiente na erradicação de N-nitrosaminas em ambas as concentrações de nitrito e embalagens a partir da quarta semana de armazenamento a 4 °C. Ressaltando a eficácia da radiação gama na diminuição de N-nitrosaminas em armazenamento prolongado. Segundo Song *et al.* (2003) os níveis de N-nitrosaminas reduzem ao ponto de se tornarem incontáveis em embalagens com atmosfera modificada com 100% N₂ com doses de 5 kGy.

A radiação gama pode induzir também alterações em proteínas por meio de fragmentação e agregação, que resultam em diminuição da interação dessas proteínas com anticorpos IgE. Como observado por Zhu *et al.* (2018) em albuminas irradiadas de soro de suínos, que tiveram diminuição na estrutura hélice alfa proporcional ao aumento da dose irradiada, houve diminuição da interação com anticorpos do tipo IgE. Isso sugere que após o procedimento de irradiação o índice de processos alérgicos causado por albumina diminuiria.

4.5. ANÁLISE SENSORIAL

As possíveis alterações que mais implicam na resistência do consumidor em consumir produtos irradiados estão associadas as alterações sensoriais. Entretanto, estudos tem demonstrado o contrário em relação ao aspecto físico dos alimentos irradiados. De acordo com Byun *et al.* (1999) mesmo após irradiação de lombo de porco suas características organolépticas permaneceram semelhantes, havendo inclusive melhora significativa na cor da amostra, que ficou mais palatável.

As poucas modificações também foram constatadas por Fadhel *et al.* (2016), o qual evidenciou que o nível de vermelhidão aumentou em amostras “marinadas” e

irradiadas. O mesmo foi possível observar em amostras que não passaram por nenhum tratamento.

Quanto às mudanças do sabor das amostras, segundo Bari *et al.* (2006) dos analistas que perceberam a diferença de sabor das amostras não irradiadas para as irradiadas, cerca de 28% informaram maior riqueza de sabor, cerca de 33% informaram não haver diferença e cerca de 38% afirmaram preferir a amostra não irradiada.

Em uma avaliação em escala numérica de 1 a 9 nos quesitos sabor, textura, odor e apreciação geral as amostras irradiadas receberam nota média igual a 7. (FADHEL *et al.*, 2016).

É possível perceber que mesmo após o tratamento, as avaliações sensoriais em geral ressaltaram a aprovação dos avaliadores ao consumo de produtos irradiados. Além disso, as possíveis alterações de cores possibilitam maior atração dos consumidores pelos cortes suínos e seus derivados.

5. CONCLUSÃO

A irradiação mostrou ser um método de conservação de alimentos excepcional cumprindo seus objetivos com doses relativamente baixas. A dose de 3 kGy mostrou-se eficiente no aspecto nutricional, sensorial e microbiológico para a maioria dos microrganismos. Mesmo com algumas exceções que necessitaram da combinação da irradiação com aditivos e embalagens específicas.

Algumas substâncias, como o nitrito adicionado as carnes e derivados suínos, exigem processamento com maiores doses e fora das doses convencionais para sofrerem redução, mas o fato de consumirmos a

muito tempo alimentos em que elas já estavam presentes deve ser levado em consideração. A técnica exige atenção quanto ao estado inicial da amostra, tempo e temperatura de armazenamento.

Além disso, o uso dessa técnica pode auxiliar outros campos que não a conservação de alimentos, como a redução de casos de hipersensibilidade a carne suína.

Existem aspectos a serem melhorados, dentre eles a legislação que não é clara na determinação de doses a serem aplicadas. Ademais deve-se investir na conscientização da população quanto ao tema para maior aceitação dessa tecnologia.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Resolução RDC nº 21, de janeiro de 2001.

AHN, Hyun-Joo et al. Monitoring of nitrite and N-nitrosamine levels in irradiated pork sausage. **Journal of food protection**, v. 65, n. 9, p. 1493-1497, 2002.

ANELLIS, A. et al. Cryogenic gamma irradiation of prototype pork and chicken and antagonistic effect between *Clostridium botulinum* types A and B. **Applied and environmental microbiology**, Natick, v. 34, n. 6, p. 823-831, dez. 1977.

ANELLIS, A. et al. Radiation sterilization of prototype military foods: low-temperature irradiation of codfish cake, corned beef, and pork sausage. **Applied Microbiology**, Natick, v. 24, n. 3, p. 453-462, set. 1972.

ANELLIS, A. et al. Radiation sterilization of prototype military foods. III. Pork loin. **Applied microbiology**, v. 18, n. 4, p. 604-611, out. 1969.

- ANELLIS, A.; GRECZ, Nicholas; BERKOWITZ, D. Survival of *Clostridium botulinum* spores. **Applied microbiology**, Natick, v. 13, n. 3, p. 397-401, maio. 1965.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL (ABPA). RELATÓRIO ANUAL 2020. [online] Disponível na internet via URL: https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2020/05/abpa_relatorio_anual_2020_portugues_web.pdf.
- BARI, M. L. et al. Irradiation inactivation of *Listeria monocytogenes* in low-fat ground pork at freezing and refrigeration temperatures. **Journal of food protection**, v. 69, n. 12, p. 2955-2960, dez. 2006.
- BYUN, M. et al. The improvement of color and shelf life of ham by gamma irradiation. **Journal of food protection**, v. 62, n. 10, p. 1162-1166, 1999.
- CARDOSO E. M. (Coord.). **A Energia Nuclear**. Apostila educativa da Comissão Nacional de Energia Nuclear, out. 2012.
- CONSEQUÊNCIAS e efeitos da bomba de Hiroshima e Nagasaki: Explosões por bombas atômicas no Japão. Estado posterior a explosão das cidades atingidas. **OBVIOUS**, São Paulo, 11 fev, 2014. Sociedade. Disponível em: <http://obviousmag.org/archives/2014/02/as_consequencias_e_efeitos_da_bomba_de_hiroshima_e.html>. Acesso em: 20 setembro 2018.
- FADHEL, Y. B. et al. Combined effects of marinating and γ -irradiation in ensuring safety, protection of nutritional value and increase in shelf-life of ready-to-cook meat for immunocompromised patients. **Meat science**, v. 118, p. 43-51, ago. 2016.
- FARKAS, J.; ANDRASSY, E. Interaction of ionising radiation and acidulants on the growth of the microflora of a vacuum-packaged chilled meat product. **International Journal of food microbiology**, v. 19, n. 2, p. 145-152, jul. 1993.
- FERREIRA, A. S. et al. National standards for processing in food irradiation. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 43201-43213, jul. 2020.
- FLORES-PÉREZ, Ivan et al. Apoptosis induced by gamma irradiation of *Taenia solium* metacestodes. **Parasitology research**, v. 90, n. 3, p. 203-208, fev. 2003.
- FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ DE MINAS GERAIS. Radiação. Disponível em: <http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/lab_virtual/radiacao.html>. Acesso em: 20 setembro 2018.
- GALATI, A.; TULONE, A.; MOAVERO, P.; CRESCIMIANNI, M. Consumer interest in information regarding novel food technologies in Italy: The case of irradiated foods. **Food Research International**, v. 119, p. 291-296, may. 2019.
- GASPAR, E. M.; SANTANA, J. C.; SANTOS, P. M.; TELO, J. P.; VIEIRA, A. J. Gamma irradiation of clove: level of trapped radicals and effects on bioactive composition. **Journal of Science Food Agriculture**, 2019 Mar 15;99(4):1668-1674. doi: 10.1002/jsfa.9351. Epub 2018 Oct 26. PMID: 30198157
- GOULD, S. E.; GOMBERG, H. J.; BETHELL, F. H. Prevention of trichinosis by gamma irradiation of pork as a public health measure. **American Journal of Public Health and the Nations Health**, Wayne County, v. 43, n. 12, p. 1550-1557, dez. 1953.
- HUQ, Tanzina et al. Synergistic effect of gamma (γ)-irradiation and microencapsulated antimicrobials against *Listeria monocytogenes* on ready-to-eat (RTE) meat. **Food microbiology**, v. 46, p. 507-514, abr. 2015.
- JIANG, J.; ZHANG, M.; BHANDARI, B.; CAO, P. Current processing and packing technology for space

foods: a review. **Food Science and Nutrition**, v. 60(21), p. 3573-3588, 2019.

KAMAT, A. S. et al. Control of Yersinia enterocolitica in raw pork and pork products by γ -irradiation. **International Journal of Food Microbiology**, v. 36, n. 1, p. 69-76, abr. 1997.

MACHADO, L.; SOUZA C. (Coord.). **A História da Energia Nuclear**. Apostila educativa da Comissão Nacional de Energia Nuclear, 2015.

MAGNONI, D.; PIMENTEL, I. A importância da carne suína na nutrição humana. São Paulo: UNIFEST, 2007.

MARTINS R. A. Como becquerel não descobriu a radioatividade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, p. 27-45, jun. 1990.

MENDONCA, A. F. et al. Radiation resistance and virulence of Listeria monocytogenes Scott A following starvation in physiological saline. **Journal of food protection**, Fayetteville, v. 67, n. 3, p. 470-474, mar. 2004.

MODANEZ, L. **Aceitação de alimentos irradiados: uma questão de educação**. 2012. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear) - INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

OLIVEIRA, K. C.; SOARES, L. P.; ALVES, A. M. Irradiação de alimentos: Extensão da vida útil de frutas e legumes. **Revista Saúde & Ambiente**, Duque de Caxias, v.7, n.2, p.52-57, jul-dez 2012.

OLUGO, S. V.; NYEGUE, M. A.; LAZAR, I; STAMATE, M; RADUCANO, D.; RATI, I. V.; ETOA, F. Effect of Drypetes gossweileri essential oil and irradiation treatments on inhibition and sensitivity of bacterial

spores. **Food Science and Technology International**, v. 26(1), p. 65–77, jul. 2019.

ORNELLAS, C. B. D.; GONÇALVES, M. P. J.; SILVA, P. R.; MARTINS, R. T. Atitude do consumidor frente à irradiação de alimentos. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 26, n. 1, p. 211-213, jan.-mar. 2006.

RAJKOWSKI, Kathleen T.; NIEBUHR, Steven E.; DICKSON, James. Effect of gamma or beta radiation on Salmonella DT 104 in ground pork. **Journal of Food Protection**, v. 69, n. 6, p. 1430-1433, jun. 2006.

RAVINDRAN. R.; JAISWAL, A. K. Wholesomeness and safety aspects of irradiated foods. **Food Chemistry**, v. 285, p. 363-368, jul. 2019.

SILVA, M. P. et al. Avaliação dos efeitos da radiação gama na conservação da qualidade da polpa de amora-preta (Rubus spp. L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 36, n. 3, p. 620-627, Sept. 2014. Disponível em: <<https://goo.gl/g9nvTR>>. Acesso : 20 set. 2018.

SILVA, H. et al. Irradiação de alimentos: Aspectos tecnológicos e nutricionais. **Revista de Trabalhos Acadêmicos** – Universo Recife. América do Norte, 1, jul. 2014. Disponível em: <<https://goo.gl/oOLoDK>>. Acesso em: 10 Abr. 2017.

SONG, I. H. et al. Effect of modified atmosphere packaging and irradiation in combination on content of nitrosamines in cooked pork sausage. **Journal of food protection**, v. 66, n. 6, p. 1090-1094, 2003.

PAZ M. P.; RANK L. (Coord.). **Estudo da Cadeia de Suprimento do Programa Nuclear Brasileiro: Irradiadores e Aplicações**. Apostila educativa da Comissão Nacional de Energia Nuclear, 2010.

VAN-AMSON, G.; HARACEMIV, S. M. C.; MASSON, M. L. Levantamento de dados epidemiológicos

ISSN: 1984-7688

relativos à ocorrências/ surtos de doenças transmitidas por alimentos (DTAs) no estado do Paraná Brasil, no período de 1978 a 2000. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras , v. 30, n. 6, p. 1139-1145, Dec. 2006 . Available from <<https://goo.gl/edmcbbm>>. Acesso em: 10 abr. 2017.

VENTURA, D. et al. Utilização da irradiação no tratamento de alimentos. **Escola Superior Agrária De Coimbra**, Coimbra, módulo II, jan. 2010.

VIĆENTIJEVIĆ, MIHAJLO et al. Effect of uranium on the radiosensitivity of Salmonella spp. in pork meat. 2017.

VITAL, H. de C.; FREIRE JUNIOR, M. **Tecnologia de alimentos e inovação: tendências e perspectivas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008.

ZHU, X. et al. Influence of Gamma Irradiation on Porcine Serum Albumin Structural Properties and Allergenicity. **Journal of AOAC International**, v. 101, n. 2, p. 529-535, 2018.