



CENTRO UNIVERSITÁRIO FACVEST - UNIFACVEST
GABRIEL PRUDÊNCIO NEVES

PANORAMA DO USO DE RADIAÇÃO NO PROCESSAMENTO DE
ALIMENTOS

LAGES
2019

GABRIEL PRUDÊNCIO NEVES

**PANORAMA DO USO DE RADIAÇÃO NO PROCESSAMENTO DE
ALIMENTOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia de Alimentos do Centro Universitário Facvest - Unifacvest, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Alimentos.

Centro Universitário Facvest - Unifacvest

Orientadora: Profa. Dra. Nilva Regina Uliana

Co-orientadora: Profa. Dra. Sabrina de Bona Sartor

Supervisora: Profa. Dra. Priscila Missio da Silva

**Lages
2019**

GABRIEL PRUDÊNCIO NEVES

**PANORAMA DO USO DE RADIAÇÃO NO PROCESSAMENTO DE
ALIMENTOS**

Este trabalho de conclusão de curso foi julgado adequado como requisito parcial para obtenção do título de Engenharia de Alimentos e aprovado em sua forma final pelo Supervisor pedagógico do Curso de Engenharia de Alimentos, do Centro Universitário Facvest – Unifacvest.

Lages, de Dezembro de 2019.

Professora e Orientadora: Dra Nilva Regina Uliana
Centro Universitário Facvest - Unifacvest

Professora e Coorientadora: Dra Sabrina de Bona Sartor

Professora e Supervisora: Dra Priscila Missio da Silva

Centro Universitário Facvest - Unifacvest

RESUMO

Os métodos térmicos de processamento são meios eficientes na promoção da estabilidade dos alimentos, porém apresentam ressalvas ao provocar alterações sensoriais e nutricionais, dependendo da intensidade de aplicação. A irradiação é um método físico que se baseia em expor o alimento a certa quantidade de radiação ionizante por um determinado tempo, de acordo com o objetivo desejado e características do alimento. A irradiação é empregada com o propósito de impedir o desenvolvimento de bactérias e fungos, evitar o uso de conservantes, conservar especiarias, eliminar parasitas e insetos que causam a deterioração nos alimentos, além de poder ser utilizada para retardar o amadurecimento de algumas frutas. O presente levantamento bibliográfico tem como objetivo analisar o quadro geral do uso da irradiação no processamento de alimentos, bem como suas vantagens, limitações e seus princípios de funcionamento. A principal vantagem dessa técnica é o fato de seu mecanismo destruir os ácidos nucléicos e os lipídios da membrana dos microrganismos, provocando mudanças na estrutura do DNA das células impedindo sua replicação. A técnica de irradiação é influenciada por diversos fatores, como: estado físico do alimento, temperatura, umidade, atmosfera do alimento e a presença ou não de oxigênio. A dose limite recomendada estabelecida pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) para tratamento de irradiação em alimentos de 10 kGy é suficiente para eliminação da maioria das bactérias, com poucas alterações sensoriais para o alimento. Na comercialização desses alimentos é obrigatório indicar que o alimento foi submetido a um processo de irradiação ou usar o símbolo internacional da irradiação de alimentos. A preocupação dos consumidores em consumir os alimentos processados por essa tecnologia é considerada uma barreira para uma melhor difusão desse método, estudos comprovam que a tecnologia de irradiação de alimentos é um método promissor para o futuro e com isso se torna fundamental a divulgação correta a respeito das vantagens e segurança desse método a fim de minimizar a rejeição dos consumidores.

Palavras chave: Irradiação de alimentos; Radiação ionizante; Conservação de alimentos; Consumidores.

ABSTRACT

Thermal processing methods are efficient means to promote food stability, but they have caveats by causing sensory and nutritional changes, depending on the application intensity. Irradiation is a physical method that is based on exposing food to a certain amount of ionizing radiation for a given time, according to the desired purpose and characteristics of the food. Irradiation is used to prevent the growth of bacteria and fungi, to avoid the use of preservatives, to conserve spices, to eliminate parasites and insects that cause food spoilage, and can be used to retard the ripening of some fruits. This bibliographic survey aims to analyze the general framework of the use of irradiation in food processing, as well as its advantages, limitations and principles of operation. The main advantage of this technique is that its mechanism destroys nucleic acids and membrane lipids of microorganisms, causing changes in the DNA structure of cells preventing their replication. The irradiation technique is influenced by several factors, such as: physical state of the temperature, humidity, food atmosphere and the presence or absence of oxygen. The recommended dose limit established by the National Health Surveillance Agency (ANVISA) for treatment of 10 kGy food irradiation is sufficient to eliminate most bacteria, with few sensory changes to the food. When marketing these foods, it is mandatory to indicate that the food has undergone an irradiation process or use the international symbol of food irradiation. The concern of consumers to consume the food processed by this technology is considered a barrier to a better diffusion of this method, studies show that the irradiation technology of food is a promising method for the future and with this it is essential the disclosure correct about the advantages and safety of this method in order to minimize consumer rejection.

Key words: *Food irradiation; Ionizing radiation; Food preservation; Consumers.*

Agradecimentos

Aos meus pais, Mara, Rogério e Altair, principalmente a minha mãe que sempre me apoiou, especialmente no tempo que eu passei longe, sem vocês nada disso seria possível.

Às pessoas que passaram comigo por todo o período de graduação e que certamente são pessoas que eu admiro Alessandro, Leonora, Luis Eduardo, Ana Lucia, Gabrielly e todas as pessoas que passaram pela minha vida durante esse tempo.

À profª Sabrina por ser um exemplo de profissional e por transmitir tudo que conseguiu durante esse tempo e por todos os ensinamentos.

À profª Priscila e profª Nilva por tudo durante o período de graduação, ensinamentos, ajudas e conselhos.

Acima de tudo agradecer a Deus que permitiu que tudo se concretizasse.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

^{137}Cs – Césio-137;

^{60}Co – Cobalto-60;

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária;

CENA - Centro De Energia Nuclear Na Agricultura;

CMEIA – Comitê Misto de Especialistas em Irradiação de Alimentos;

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear;

CRA – Capacidade de Retenção de Água;

FAO – Food and Agriculture Organization;

FDA – Food and Drug Administration;

Gy – Gray;

IAEA – International Atomic Energy Agency;

IEN – Instituto de Energia Nuclear;

J – Joule;

kGy – Kilogray;

MeV – Megaelétron-volt – $1,60218\text{e}^{-13}$ joules;

OMS – Organização Mundial da Saúde;

UFC – Unidades Formadoras de Colônias;

α – alfa;

β – beta;

γ – gama;

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GERAL.....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3 METODOLOGIA	13
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
4.1 RADIAÇÃO.....	14
4.2 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMENTO	14
4.2.1 Radiação gama	16
4.2.2 Feixe de elétrons	17
4.2.3 Dose e dosimetria.....	18
4.3 LEGISLAÇÃO PARA ALIMENTOS IRRADIADOS NO BRASIL	19
4.4 EFEITOS DA RADIAÇÃO SOBRE OS MICRORGANISMOS	20
4.4.1 Mecanismo de ação.....	20
4.5 ALTERAÇÃO NUTRICIONAL DOS ALIMENTOS PELO USO DA RADIAÇÃO IONIZANTE.....	23
4.5.1 Efeito nas proteínas.....	23
4.5.2 Efeito nos carboidratos	23
4.5.3 Efeitos nos lipídios.....	24
4.5.4 Efeito nas vitaminas.....	24
4.5.5 Efeito nas enzimas	25
4.6 APLICAÇÃO DA IRRADIAÇÃO NOS ALIMENTOS.....	25
4.6.1 Alimentos de origem vegetal	25
4.6.1.1 Especiarias.....	25
4.6.1.2 Frutas e legumes	26
4.6.1.3 Cereais e grãos....	26
4.6.2 Alimentos de origem animal	27

4.6.2.1 Carne de aves.....	27
4.6.2.2 Carne de carneiro	28
4.6.2.3 Carne de bovinos.....	29
4.6.2.4 Carne de suínos	30
4.6.2.5 Carnes processadas.....	31
4.6.2.6 Peixes e produtos do peixe	31
4.7 SEGURANÇA DE ALIMENTOS IRRADIADOS	31
4.8 DESVANTAGENS QUANTO AO USO DA IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS	32
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

O processamento de alimentos baseia-se na aplicação de métodos de conservação. Dentre os alvos envolvidos na conservação de alimentos, a luta contra os agentes biológicos, em particular os microrganismos é a mais trabalhosa, sendo que a maioria dos métodos de conservação foi elaborada ou aperfeiçoada para destruir os microrganismos ou inibirem seu crescimento (ORDÓÑEZ *et al.*, 2005).

Com o passar dos anos a indústria alimentícia tem desenvolvido diversos métodos de conservação de alimentos, dentre eles alguns pela aplicação de temperatura, alteração de pH, diminuição da atividade de água do alimento e dentre outras, o emprego da irradiação.

Os métodos térmicos de processamento são meios eficientes na promoção da estabilidade dos alimentos, porém apresentam ressalvas ao provocar alterações sensoriais e nutricionais, dependendo da intensidade de aplicação. Atualmente tem-se observado dentre os consumidores uma maior preocupação com a qualidade de sua alimentação e uma crescente por produtos com características mais próximas das naturais (ORDÓÑEZ *et al.*, 2005). Nesse contexto, surgiram os tratamentos não térmicos, com o objetivo de manter o produto seguro para o consumidor e manter suas características de cor, sabor, aroma e de seus nutrientes (ZHONG *et al.*, 2005).

A radiação ionizante é um desses métodos que vem sendo aplicados na conservação de alimentos, em combinação ou substituição aos tratamentos térmicos. Quando em doses controladas aplicadas, as alterações nas características sensoriais e nutricionais são mínimas no alimento, além de poder ser aplicada em alimentos sólidos, líquidos e, até embalados, evitando a contaminação pós tratamento (HERNANDES *et al.*, 2003; FELLOWS, 2006).

É importante destacar que no processo de radiação ionizante ocorre uma interação a nível molecular e, por isso, é necessário conhecer as fontes de radiação de ionização, suas limitações e vantagens, pois o excesso de energia pode pôr em risco a qualidade do alimento (VENTURA *et al.*, 2010).

No processo de radiação ionizante, o alimento embalado ou não é submetido a um dos dois tipos de energia ionizante: raios gama ou feixe de elétrons. (ALFEREZ, 2004). Em 1983, o *Codex Alimentarius* concluiu que alimentos irradiados abaixo de

10 kGy não apresentam risco tóxico e junto à OMS e a FAO concluíram que a irradiação de alimentos é segura e benéfica.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo estudar e revisar a aplicação de radiação em alimentos bem como as fontes de radiação, a segurança dos alimentos irradiados e os efeitos dessa irradiação nos alimentos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os efeitos do uso da radiação ionizante nos microrganismos e componentes nutricionais dos alimentos através de revisão bibliográfica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Discutir os tipos de radiação utilizada nos alimentos bem como suas diferenças e aplicações;
- Avaliar a segurança dos alimentos irradiados;
- Discorrer das possíveis reações secundárias indesejadas após o processo de irradiação;
- Apontar os benefícios desse método de conservação quando comparado a outros métodos físicos de conservação;

3 METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido através de uma revisão bibliográfica, baseada em materiais científicos. Utilizou-se artigos científicos, livros de tecnologia de alimentos, bases de dados, publicações em revistas impressas e eletrônicas, e entre outras fontes, nas quais seus conteúdos fossem relevantes ao **panorama do uso de radiação no processamento de alimentos**. Para tanto, o estudo seguiu a lógica das etapas apresentadas por Gil (2002):

- Levantamento bibliográfico preliminar: realizar um estudo exploratório nos materiais bibliográficos para possibilitar maior delimitação do assunto desejado e finalmente definir o problema.
- Formulação do problema: expor de forma clara, concisa e objetiva qual é a ideia na qual se pretende realizar o estudo sobre.
- Busca das fontes: identificar as fontes capazes de fornecer as respostas adequadas à solução do problema proposto, sendo fundamental obter informações e a apreciação crítica do orientador e se possível de especialistas do tema. Localizá-las e obtê-las.
- Leitura do material: identificar e analisar a consistência das informações e dos dados fornecidos pelos autores, estabelecer relações entre os mesmos com o problema proposto. No decorrer da leitura que pode ser exploratória, seletiva, analítica ou interpretativa, tomar apontamentos.
- Construção lógica do trabalho: estruturar logicamente as ideias com vista em atender aos objetivos ou testar as hipóteses formuladas no início da pesquisa.
- Redação do relatório: redigir o texto de acordo com as normas propostas.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 RADIAÇÃO

Embora a irradiação pareça ser uma tecnologia recente, as pesquisas iniciaram-se com a descoberta dos Raios X em 1895 e da radioatividade em 1896. A primeira patente sobre tratamento de alimentos com irradiação surgiu já em 1905 com o tratamento principalmente de cereais com raios α , β e γ (DIEHL, 2002).

A primeira utilização comercial da irradiação de alimentos ocorreu na Alemanha em 1957 quando uma indústria de especiarias utilizou um feixe de elétrons para melhorar a qualidade higiênica de seus produtos. A dificuldade de se realizar testes era o principal empecilho da época o que fazia com que muitos países ainda hesitassem em autorizar a comercialização de produtos irradiados (DIEHL, 2002).

Em 1980 a pedido da FAO, IAEA e OMS criou-se o Comitê Misto de Especialistas em Irradiação de Alimentos que através de várias pesquisas concluiu que a irradiação de qualquer alimento não apresenta risco toxicológico, problemas microbiológicos ou nutricionais desde que respeite a dose limite de 10 kGy (WHO, 1981).

Até 2011 mais de 60 países já haviam aprovado a utilização de irradiação em pelo menos um alimento. No Brasil, a ANVISA aprovou através da RDC número 24, de 26 de janeiro de 2001, um regulamento técnico para a irradiação de alimentos, estabelecendo que qualquer alimento pode ser irradiado desde que a dose máxima absorvida seja inferior àquela que comprometeria as propriedades funcionais e ou os atributos sensoriais, não tendo estipulado um valor numérico máximo para a dose permitida no país (BRASIL, 2001; FAO, 2011).

4.2 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMENTO

Existem duas classes de radiação de ionização: as ondas eletromagnéticas (raios X e raios gama) e a transmitida por partículas de energia (alfa, prótons, elétrons e nêutrons) que apresentam energia capaz de remover elétrons de valência de um átomo e energia inferior ao início das reações nucleares. Entretanto, na indústria de alimentos, apenas duas dessas formas são utilizadas, a radiação eletromagnética principalmente, a gama e raios X e a radiação por feixes de elétrons (BRASIL, 2001; GRANDISON, 2006; CENA, 2011).

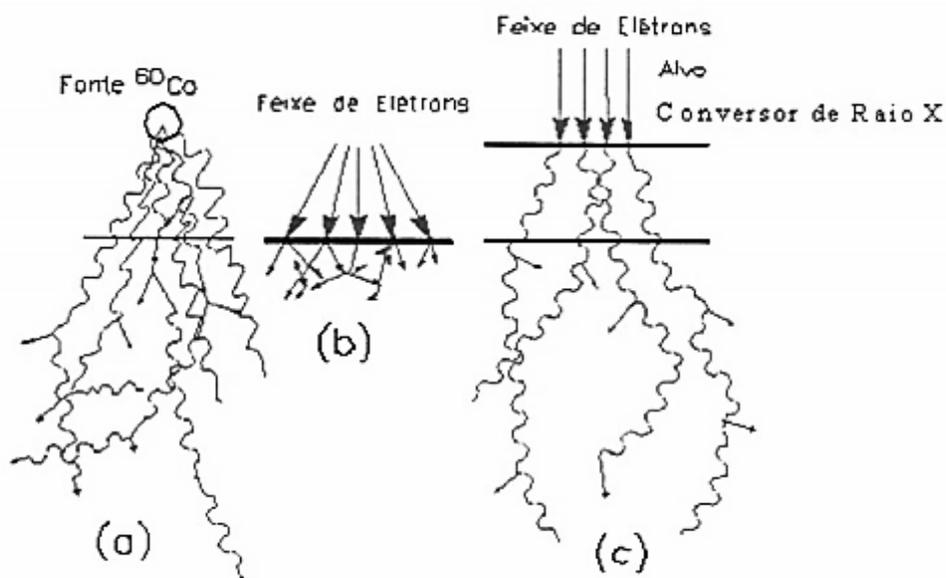
Segundo a BRASIL (2001) as fontes de radiação permitidas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear são: isótopos radioativos emissores de radiação gama, como o ^{60}Co e ^{137}Cs ; raios X oriundos de equipamentos que trabalham com energia de até 5MeV; e elétrons gerados máquinas com energia de até 10MeV.

O princípio da radiação explica que quando os raios gama, X ou feixe de elétrons interagem com a matéria, essa energia é absorvida pela matéria, o que resulta na formação de elétrons energizados que circundam aleatoriamente a matéria, causando ionização ou uma excitação dos átomos e moléculas. Estes íons ficam sujeitos a captura de elétrons, reações íon-molécula e dependendo da complexidade do íon até a dissociação (KOMOLPRASERT; MOREHOUSE, 2004; PATIL, 2004).

Os efeitos da radiação assim como outros métodos de conservação dependem de inúmeros fatores como o tipo de radiação e seu nível de energia, bem como o ambiente atmosférico do material irradiado, estado físico, temperatura e composição. Em caso de irradiação em organismos vivos, essas reações podem ter efeitos biológicos (KOMOLPRASERT; MOREHOUSE, 2004).

As radiações eletromagnéticas dos raios gama (^{60}Co) e raios X (5 MeV) possuem uma alta capacidade de penetração, enquanto os feixes de elétrons (10 MeV) apresentam baixa difusividade, como apresentado na figura 1. Contudo, em ambos os casos os alimentos ou embalagens que recebem esses raios não apresentam radioatividade. De acordo com o Sistema Internacional a dose, ou quantidade de energia absorvida é medida em *gray* (Gy) e equivale a 1J.kg^{-1} de energia absorvida. (FARKAS & MOHÁCSI-FARKAS, 2011; PATIL, 2004).

Figura 1: Tipos de radiação ionizante utilizadas em processos industriais e comparação do nível de penetração entre raios gama (^{60}Co), elétrons e raios-X.



Fonte: DAVID TSAI (2006).

4.2.1 Radiação gama

Raios gama são definidos como radiações eletromagnéticas geradas durante o decaimento de certos rádio-isótopos, como o $^{60}\text{Cobalto}$ ou o $^{137}\text{Césio}$. No caso do ^{60}Co , ele é fabricado a partir da alta purificação do ^{59}Co que não é radioativo. Depois de purificado, o ^{59}Co é hermeticamente comprimido em pequenas cápsulas cilíndricas que são encaixadas em tubos de aço limpos que são depositados em um reator nuclear e bombardeados repetidamente com nêutrons, originando o ^{60}Co . Além de um alto poder de penetração em alimentos o ^{59}Co está presente em consideráveis quantidades na natureza e com um custo aceitável, o que contribuiu para que a radiação gama se tornar uma das mais utilizadas na indústria de alimentos (ANDREWS, 1998; HERNANDES *et al.*, 2003; PEREDA, 2005).

O mecanismo de ação de raios gama e X baseia-se em três processos: efeito fotoelétrico, produção de pares e efeito Compton, sendo esse último o principal mecanismo de transferência de energia em alimentos irradiados. No último processo, um fóton incidente interage com o átomo e transfere sua energia, causando uma ejeção de elétrons. Esses elétrons ejetados têm energia capaz de causar excitação e

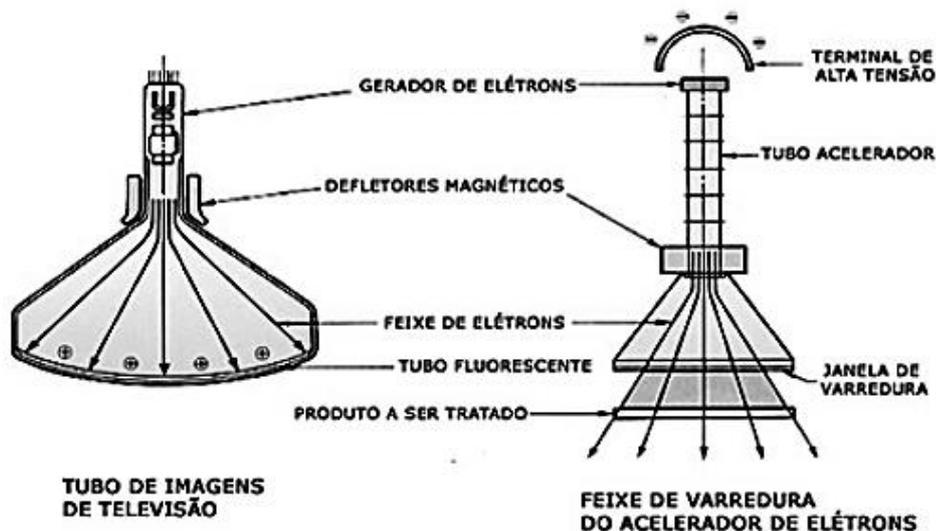
ionização dos átomos restantes. A radiação penetra profundamente no alimento, e por meios físicos, interage com átomos e moléculas, provocando transformações químicas e biológicas (URBAIN [a], 1986).

Os raios gama agem também decompondo as substâncias que compõem o produto irradiado em um processo denominado radiólise. Em alimentos, esse processo pode ter efeitos primários e secundários, sendo os primários efeitos que ocorrem diretamente nos compostos quando absorvem a energia de irradiação e pode gerar alterações irreversíveis, contudo o secundário ocorre quando produtos primários interagem com outros compostos ou até com eles mesmos, resultando em substâncias alheias à composição inicial chamados de produtos radioalíticos (PEREDA, 2005).

4.2.2 Feixe de elétrons

O sistema de feixe de elétrons utiliza a eletricidade para gerar elétrons em um ponto central (SAPTCHENKO, 2003). Os elétrons são produzidos em aceleradores de elétrons, onde se estabelece um potencial de alta voltagem entre um cátodo e um ânodo. O cátodo emite um feixe de elétrons chamados raios catódicos ou feixes eletrônicos. Semelhantes a um tubo de televisão, como mostra a Figura 2, os aceleradores de elétrons se diferem na tensão da aceleração do feixe de elétrons. Em um televisor a tensão circunda 20.000 Volts, enquanto no acelerador de elétrons essa tensão varia entre 200,000 a 10,000,000 Volts (SATO, 1993; RELA, 2003).

Figura 2: Desenho esquemático das principais estruturas que compõem um tubo de televisão e um acelerador de elétrons.



Fonte: DAVID TSAI (2006).

No sistema de feixes de elétrons, os produtos percorrem por uma esteira onde recebem a irradiação. A dose aplicada no produto deve ser ajustada com a velocidade da esteira que o transporta, controlando assim o tempo de exposição do produto (SAPTCHENKO, 2003).

Uma das principais diferenças entre os raios gama e o feixe de elétrons é a sua capacidade de penetração nos materiais, a capacidade de penetração dos raios gama é muito maior que a do feixe de elétrons (HAYASHI, 1991). Independente do tratamento desejado, fatores como densidade do produto e espessura do material devem ser levados em conta. Para um material com densidade de 1 g.cm^{-3} a capacidade de penetração do feixe de elétrons com energia de 10 MeV é de 5 cm, enquanto que para um irradiador gama com fonte de ^{60}Co com energia média de 1,25 MeV é de 50 cm (RELA, 2003).

4.2.3 Dose e dosimetria

A dose de radiação ou nível do tratamento é definida como a quantidade de energia absorvida durante a exposição do produto. Atualmente a dose de radiação ionizante absorvida é medida em Gy que equivale a 1 J de energia absorvida por

quilograma do produto irradiado. Nos alimentos irradiados são usualmente caracterizados como: baixas (menores que 1,0 kGy), médias (1-10kGy) e grandes (maiores que 10 kGy).

4.3 LEGISLAÇÃO PARA ALIMENTOS IRRADIADOS NO BRASIL

A legislação específica para alimentos irradiados, no Brasil, intitulada: Resolução – RDC nº 21, de 26 de janeiro, de 2001, da ANVISA. Com a finalidade de “estabelecer os requisitos gerais para o uso da irradiação em alimentos com vistas à qualidade sanitária do produto final”.

Segundo a legislação, “qualquer alimento pode ser tratado por irradiação, desde que a dose mínima seja suficiente para alcançar a finalidade pretendida e a dose máxima seja inferior àquela que comprometeria as propriedades funcionais e sensoriais do alimento”. O rótulo do produto deve conter a informação “alimento tratado por irradiação” devendo estar presente também na listagem de ingredientes, quando um alimento irradiado é utilizado como ingrediente em um produto (BRASIL, 2001).

Na comercialização desses alimentos é obrigatório colocar na faixa indicando que o alimento foi submetido a um processo de irradiação ou usar o símbolo internacional da irradiação de alimentos como na figura 3 (BRASIL; 2001).

Figura 3: Símbolo internacional da irradiação em alimentos



A CNEN instrui quanto licenciamento do uso de irradiação para assegurar a proteção radiológica dos trabalhadores e consumidores e a segurança das fontes de radiação, onde esse licenciamento acompanha etapas que vão desde a autorização do espaço de instalação até o fim da vida útil da instalação. Para o funcionamento das instalações de irradiação de alimentos é necessário possuir o Alvará Sanitário e ter cadastramento nos órgãos competentes do Ministério da Saúde e Ministério da Agricultura (BRASIL; 2001).

4.4 EFEITOS DA RADIAÇÃO SOBRE OS MICRORGANISMOS

A irradiação que incide os alimentos causa lesões no material genético das células das bactérias fazendo dessa uma das principais vantagens da irradiação de alimentos, pois leva a danificação ou destruição de microrganismos prejudiciais. De maneira geral, ela inibe o crescimento de bactérias, bolores, e leveduras, pois impede que as mesmas realizem de maneira eficaz seus processos biológicos essenciais para a sua existência. Além disso, tem efeitos retardando a maturação e germinação de alguns microrganismos, podendo prolongar a vida útil dos alimentos (CALÇADA *et al.*, 2010).

4.4.1 Mecanismo de ação

O principal alvo da irradiação nos alimentos são os ácidos nucleicos e os lipídios da membrana dos microrganismos. No DNA causa mudanças em sua estrutura o que previne a replicação dentre outras funções. Na membrana, os lipídios poliinsaturados sofrem mais alterações, o que leva à perturbação da membrana e efeitos prejudiciais sobre diversas funções como a permeabilidade (CALÇADA *et al.*, 2010).

Os cromossomos das bactérias são muito sensíveis a exposição à radiação e causam danos letais aos mesmos, danos que quando reparados conferem à bactéria uma maior resistência, como exemplo, as *Pseudomas* estão entre o grupo das mais sensíveis, enquanto, os *Deinococcus* no grupo das mais resistentes com maior capacidade de reparação (CALÇADA *et al.*, 2010).

Segundo Fellows (2006), Franco e Landgraf (2008) a eficiência do tratamento sobre microrganismos está sujeita a vários fatores como: a quantidade de microrganismos, pois quanto maior a quantidade maior será a dose requerida; composição do alimento, microrganismos em meios proteicos são mais resistentes; o oxigênio, já que a presença do mesmo torna o microrganismo menos resistente à radiação; estado físico do alimento, células desidratadas ou congeladas são mais resistentes; condição do microrganismo, já que são mais resistentes quando se encontram na fase *lag*; radiorresistência do microrganismo, quanto mais complexo o DNA maior é a sensibilidade do mesmo.

A dose limite recomendada estabelecida pela OMS para tratamento de irradiação em alimentos de 10 kGy é suficiente para eliminação da maioria das bactérias, mas como pode-se observar na Tabela 1 não apresenta tanto efeito sobre esporos e vírus.

Tabela 1: Dose letal de radiação para alguns seres vivos

Organismos	Dose letal (Gy)
Mamíferos	5 - 10
Insetos	10 - 1000
Bactérias	500 - 10000
Esporos	10000 - 50000
Vírus	10000 - 200000

Fonte: HERNANDES *et al.*, (2003).

De acordo com Jay e coautores (2005) e Fellows (2006) a irradiação de alimentos visando à destruição de microrganismos pode ser dividida em três categorias, a radapertização, radicação e radurização.

A radapertização tem como objetivo a esterilização do alimento, utilizando doses acima da quantidade de 10 kGy permitida, o que pode causar alterações sensoriais e nutricionais no alimento. Como comparativo para se obter uma redução

dos esporos de *Clostridium botulinum* em carnes de frango é necessária uma dose de 42,72 kGy. Contudo uma dose tão alta causaria alterações drásticas nas características sensoriais da carne (JAY, LOESSNER e GOLDEN, 2005; FELLOWS, 2006).

A radicação consiste na redução de microrganismos patógenos não formadores de esporos. Nesse processo, doses menores são utilizadas visando que bactérias causadoras de toxinfecções alimentares são menos resistentes à radiação do que as esporulantes. Patógenos como a *Salmonella spp*, *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus* são menos resistentes à radiação do que o *Clostridium botulinum* e doses mais baixas entre 3,0 kGy e 10 kGy são suficientes para causar sua inativação. Estudos já constataram que uma dose de 3,8 kGy de radiação gama (⁶⁰Co) é suficiente para garantir a segurança de sobrecoxas de frango em relação à presença de *Salmonella typhimurium* (JAY, LOESSNER e GOLDEN, 2005; FELLOWS, 2006; SANTOS *et al.*, 2003).

Na radurização são aplicadas doses relativamente baixas, em torno de 0,75 a 2,5 kGy, buscando a eliminação de fungos, leveduras e bactérias não esporulantes para aumentar a vida de prateleira de alguns produtos (JAY, LOESSNER e GOLDEN, 2005; FELLOWS, 2006).

Patterson (1989) avaliou a sensibilidade de 7 diferentes espécies de bactérias inoculadas em carnes de aves estéreis e sua sensibilidade a irradiação no ar, dióxido de carbono, no vácuo e no nitrogênio. Ele verificou que *Streptococcus faecalis* e *streptococcus aureus* não são sensíveis à atmosfera; *Pseudomonas putida*, a *Salmonella typhimurium*, a *Escherichia coli*, a *Moraxella phenylpyruvica* e *Lactobacillus* são mais sensíveis em outras atmosferas do que são no ar. Por fim, Patterson concluiu que a irradiação é mais letal em atmosfera de dióxido de carbono e que atmosferas com nitrogênio tornam os microrganismos mais resistentes.

A irradiação proporciona também a inativação de certos organismos parasitas patogênicos tanto para o homem quando para os animais. O nematódeo *Trichinella spiralis* é destruído com dose mínima de 0,15 kGy. Outros parasitas como as tênias, o protozoário suíno que causa a toxoplasmose e inúmeros nematódeos que infectam peixes, são destruídos com doses inferiores a 1,0 kGy (ORDÓÑEZ *et al.*, 2005).

4.5 ALTERAÇÃO NUTRICIONAL DOS ALIMENTOS PELO USO DA RADIAÇÃO IONIZANTE

Como outras técnicas de processamento e conservação de alimentos, a radiação pode provocar certas alterações que podem modificar a composição química e valor nutricional dos alimentos. A dimensão destas mudanças depende de condições como a quantidade de água do alimento, da dose da radiação, da temperatura, presença ou ausência de oxigênio no processo, proteínas, carboidratos, lipídios e micronutrientes podem ser afetados pelo uso da radiação. (KILCAST, 1994; NISIZAWA, 1988; WIENDL, 1984).

4.5.1 Efeito nas proteínas

Mesmo em baixas doses a irradiação costuma atuar nas proteínas que sofrem desenrolamento, coagulação, divisão de aminoácidos e desdobramento, efeito esse que apesar de indesejável é utilizado para provocar desdobramento na molécula da proteína, liberando sua capacidade para mais reações. Normalmente, verificam-se os principais efeitos nas ligações sulfúricas e nas pontes de hidrogênio, enquanto as ligações peptídicas são menos predispostas aos efeitos da irradiação (VENTURA *et al.*, 2010).

Além da estrutura, a irradiação também exerce efeitos sobre as propriedades funcionais das proteínas, no caso do ovo, a dose necessária para eliminação da *Salmonella* provoca, também, a perda da viscosidade da clara além de *flavours* indesejáveis na gema. Um ovo tratado com radiação de 6,0 kGy demonstrou uma fina condição aquosa que pode levar a destruição ou alteração da ovomucina que é o principal composto espessante da albumina do ovo. A caseína do leite sujeita a mesma radiação, resulta num aumento do tempo de coagulação e estabilidade térmica (VENTURA *et al.*, 2010).

4.5.2 Efeito nos carboidratos

Nesse nutriente o uso da irradiação em cadeias de alto peso molecular pode provocar uma quebra em cadeias menores, um processo que resulta no retardo da maturação de frutas e vegetais (KILCAST, 1994).

É preciso considerar que esse pode ser um processo com vantagens e desvantagens, pois pode ser benéfico para aumentar o rendimento do sumo e na redução dos tempos de secagem e cocção. As desvantagens dependem da dosagem, pois podem levar ao amolecimento, escurecimento e o surgimento de depressões superficiais, além, de perda de aroma e sabor de alguns produtos (CHITARRA; CHITARRA, 1990).

Podem-se obter também efeitos mutagênicos e citotóxicos quando se sujeita carboidratos puros a doses de irradiação muito elevada (VENTURA *et al*, 2010).

4.5.3 Efeitos nos lipídios

O desencadeamento de processos de auto-oxidação dos lipídios é um exemplo das alterações provocadas pelo uso de irradiação em lipídios. Os ácidos graxos insaturados são mais susceptíveis à oxidação do que os saturados por serem mais instáveis. A auto-oxidação é caracterizada pela formação de peróxidos e compostos voláteis e responsáveis pelo desenvolvimento de ranços e *flavors* indesejáveis. Esse processo de oxidação pode ser amenizado caso o processo seja realizado na ausência de oxigênio (KILCAST, 1994; VENTURA *et al*, 2010).

Byun e colaboradores (1996) analisaram as propriedades físico-químicas de óleo extraído dos grãos de soja irradiados e não observou nenhuma alteração no conteúdo de lipídios totais, na composição de ácidos graxos e no índice de peróxidos. Entretanto, Zeb e Taufiq (2004) constataram alterações físico-químicas como o aumento de ácidos graxos livres e do índice de peróxidos em óleos de soja e girassol submetidos a doses acima de 10 kGy.

4.5.4 Efeito nas vitaminas

O ácido ascórbico em solução é extremamente instável à radiação, porém nos frutos e vegetais permanecem totalmente estáveis a baixas doses de tratamento. Outras vitaminas como a riboflavina, niacina e vitamina D são bastante estáveis, enquanto outras como a tiamina, vitamina A, C, E e K dependem da dose usada, as perdas são baixas quando as doses utilizadas também são (KILCAST, 1994; THOMAS *et al.*, 1981; VENTURA *et al.*, 2010).

4.5.5 Efeito nas enzimas

Devido a sua alta resistência, as enzimas não são afetadas com doses normais de irradiação em alimentos. Nesse caso, alimentos devem passar por uma inativação enzimática antes de serem irradiados, geralmente, um processo térmico que promove a desnaturação, impedindo assim que esse alimento esteja mais susceptível ao ataque enzimático durante o seu armazenamento (CALÇADA *et al.*, 2010; VENTURA *et al.*, 2010).

A fosfatase presente no leite tratado com doses de irradiação usadas para a esterilidade do leite comprova a elevada resistência da enzima à irradiação. A destruição completa das enzimas só foi observada em tratamento com doses muito altas ou irreais (CALÇADA *et al.*, 2010; VENTURA *et al.*, 2010).

4.6 APLICAÇÃO DA IRRADIAÇÃO NOS ALIMENTOS

4.6.1 Alimentos de origem vegetal

A radiação ionizante pode ser aplicada com diversas finalidades na indústria de alimentos, tais como: retardo do amadurecimento de algumas frutas, conservação de tubérculos, grãos, carnes, para o controle de insetos, descontaminação de especiarias e até esterilização de materiais (HACKWOOD, 1991).

Apesar de ser pouco utilizada no Brasil, a tecnologia de radiação de alimentos vegetais, especificamente, já está aprovada para mais de 40 países e 50 diferentes alimentos, no país essa tecnologia está praticamente restrita à descontaminação de especiarias em substituição ao método de fumigação de óxido de etileno, que já foi banido na União Europeia em 1991 e está sendo banido de vários outros países incluindo o Brasil por seu potencial carcinogênico (HERNANDES.; VITAL; SABAA-SRUR, 2003).

4.6.1.1 Especiarias

Por consequência do seu processo de secagem natural, as especiarias estão comumente associadas a contaminações, predominantemente por *Clostridium*, *Staphylococcus*, *Bacillus*, *Aspergillus* e *Fusarium*, com isso o uso da irradiação como

método de descontaminação em especiarias tem sido cada vez mais utilizado (CALÇADA *et al.*, 2010; VENTURA *et al.*, 2010).

Utilizando uma dose de 2,5 kGy, os fungos e bactérias são reduzidos em até 2 ciclos logarítmicos, com uma dose de 7,5 kGy consegue-se eliminar toda a população. O tratamento de cabeças de alho (*Allium sativum*) com 0,15 kGy pode inibir a germinação e reduzir as perdas de peso durante o armazenamento (CALÇADA *et al.*, 2010; VENTURA *et al.*, 2010).

4.6.1.2 Frutas e legumes

Frutas como morangos, cerejas, mirtilos e amoras podem ter sua vida de prateleira prolongada com o uso de baixas doses de radiação ionizante. Mirtilos (*Vaccinium myrtillus*) irradiados com 0,25; 0,5; e 0,75 kGy podem ser armazenados, respectivamente, durante 1, 3 e 7 dias a 1°C. A firmeza dos frutos foi ligeiramente afetada pela radiação, porém a perda de peso, cor e acidez não foram afetadas, *flavor* e textura foram negativamente afetadas com doses mais elevadas (VENTURA *et al.*, 2010; CALÇADA *et al.*, 2010).

Mamão papaia (*Carica papaya*) tolera até 1,0 kGy antes de esquentar a superfície, o desenvolvimento de cor na superfície não é interrompido até 2,0 kGy, sabor e aroma até 4,0 kGy e desagregação do tecido até 5,0 kGy. Uma dose de 0,75 kGy é considerada a dose ideal para a conservação da firmeza dos frutos com um aumento do tempo de prateleira dos mesmos (CALÇADA *et al.*, 2010; VENTURA *et al.*, 2010).

Em mangas (*Mangifera indica*), o uso da irradiação é extremamente benéfico. Quando utilizado no grau de maturação certo da fruta, causa um retardo de sua maturação e senescência, o que agrega em frutas, que às vezes precisam ser transportadas a longas distâncias (CALÇADA *et al.*, 2010; VENTURA *et al.*, 2010).

4.6.1.3 Cereais e grãos

Usualmente grãos e cereais são submetidos a baixas doses de irradiação para eliminar insetos e fungos, uma vez que alguns destes produzem micotoxinas.

Doses de 0,2 a 1,0 kGy são suficientes para que haja um controle de insetos nos grãos. Em doses de até 5,0 kGy ocorre a morte do número total de muitos fungos

e seus esporos. De acordo com estudos doses acima de 5,0 kGy já apresentam efeitos na qualidade dos grãos e cereais como aspecto e sabor. O pico da viscosidade do amilograma e valores de queda do número da farinha diminuirão com o aumento da dose de irradiação (CALÇADA *et al.*, 2010; VENTURA *et al.*, 2010).

4.6.2 Alimentos de origem animal

Desde 1997 é aprovado pela FDA o uso de radiação ionizante com o intuito de eliminar ou inativar bactérias patogênicas em carnes vermelhas. A irradiação é eficiente em matar bactérias patogênicas em carne vermelha e eficaz para retardar a deterioração de carnes frescas e de aves.

Entretanto, o tratamento com radiação ionizante em carnes apesar de eficiente provoca mudanças como a oxidação de pigmentos e oxidação da gordura, mudanças essas que muitas vezes prejudicam a aceitação dos consumidores. Estudos mostraram que carnes tratadas com doses de radiação entre 0,25 e 1,0 kGy, em condições aeróbicas, aumentavam a vida de prateleira de carnes, mas com a oxidação lipídica, aceleravam a formação de ranço nas amostras.

Em carnes vermelhas, doses superiores a 2,5 kGy controlam a proliferação de bactérias do gênero *Salmonella*, *Campylobacter*, *Listeria monocytogenes*, *Streptococcus faecalis*, *Staphylococcus aureus*, e em aves e outras carnes a *Escherichia coli*. Contudo, essas doses já podem causar alterações no sabor, odor e cor destas carnes. Essas alterações podem ser minimizadas se o procedimento de irradiação for realizado com a mesma intensidade, porém, em baixas temperaturas e na ausência de oxigênio (CALÇADA *et al.*, 2010; VENTURA *et al.*, 2010).

4.6.2.1 Carne de aves

Para carne de frango congelada as doses de irradiação recomendadas são de 3,0 a 5,0 kGy e para carnes de frango resfriadas 1,5 a 2,5 kGy, sendo estes tratamentos efetivos para a redução de bactérias patogênicas do gênero *Salmonella* (KAMPELMACHER, 1984; SARJEANT *et al.*, 2003).

A dose mínima para a diminuição do número de *Salmonella spp* em carne de frango é de 3,8 kGy (SANTOS *et al.*, 2003). Já Miyagusku e colaboradores (2003) constataram que doses de 7,0 kGy em filés de peito de frango provocaram a sensível

redução na microbiota contaminante do frango. O estudo também constatou um aumento no odor de queimado à medida que aumentava as doses de radiação, configurando a dose de 3,0 kGy como a mais recomendável sem alterações sensoriais perceptíveis (CANIZARES, 2008).

Algumas alterações podem ocorrer em carnes de aves provenientes da irradiação como a mudança de cor, sabor e textura. A cor da carne é proveniente da concentração de pigmentos como a mioglobina e hemoglobina e seus estados químicos (LAWRIE, 1991). Segundo Urbain (1986) carne de frango quando submetida a doses de esterilização, pode apresentar coloração marrom ou cinza. Millar e colaboradores (2000) utilizaram doses de 5,0 kGy em peitos e coxas de frango e constataram que a intensidade da coloração vermelha foi, significativamente, maior nas amostras não irradiadas enquanto, a intensidade da cor amarela foi maior nas amostras irradiadas (CALÇADA *et al.*, 2010; VENTURA *et al.*, 2010).

Podem ocorrer também alterações na estrutura do músculo da carne devido a irradiação. Yoon (2003) observou que os músculos de cortes de frango irradiados sofrem enrijecimento, assim como a contração dos sarcômeros por conta de um desarranjo das miofibrilares.

Sabor, odor e outras características sensoriais podem ser alteradas devido à oxidação lipídica e pela reação dos radicais livres além, da hidrólise das proteínas resultando em compostos sulfurados (DIEHL, 1995). A carne de frango contém mais ácidos graxos polinsaturados do que a carne bovina e por isso é mais susceptível a mudanças oxidativas pela irradiação (BRANKA; BRANKA; DUSAN, 1992).

Contudo, vários estudos realizados com carnes de aves nos Estados Unidos sugerem que doses de 2,0 a 5,0 kGy não causam efeitos negativos nas características sensoriais dessas carnes.

4.6.2.2 Carne de carneiro

Usualmente carne de carneiro ou carne picada de carneiro deterioram em 1 semana de armazenamento a 0-3°C. Em pedaços de carne irradiados, com 1,0 e 2,5 kGy ainda eram aceitáveis dentro de 3 a 5 semanas, respectivamente. Enquanto isso, produtos embalados a vácuo irradiados com doses de 4,0 kGy não constaram

crescimento de bactérias por pelo menos 8 semanas armazenados de 0-1°C (CALÇADA *et al.*, 2010; VENTURA *et al.*, 2010).

Um dos principais métodos para avaliar a qualidade de carnes frescas é a determinação de bases voláteis. Segundo Souza e colaboradores (2009), amostras de carne submetidas à irradiação com doses de 2,0 e 4,0 kGy diminuíram significativamente seus teores de bases voláteis, sendo a dose de 4,0 kGy a que apresentou os menores índices.

Doses elevadas podem ainda provocar mudanças na textura e na CRA devido à desnaturação das proteínas causadas pela irradiação (LAWRIE, 1985).

4.6.2.3 Carne de bovinos

Ao estudar o efeito de diferentes doses de irradiação Rodriguez (1993) constataram em carnes submetidas a 2,0 kGy e armazenadas durante 8 a 11 dias continham 107 UFC's.cm⁻² de psicotróficos e não foram observados em amostras armazenadas durante 28 dias.

Evangelista (1994) constatou que o sabor característico de "irradiado" pode ser mais intenso em carne bovina do que nas carnes de frango e suíno, devido aos radicais livres originados pela água não ligada irradiada, ou pela quebra das ligações químicas das proteínas, lipídios e proteínas sulfuradas, gerando respectivamente, carbonetos, mercaptanas, sulfetos e dissulfetos. Quanto ao odor, a carne irradiada pode apresentar um odor típico de trigo e de substâncias sulfuradas. Na cor, as alterações indicam relação à intensidade das doses. A irradiação de proteínas pigmentadas tem efeito oportuno, pois a mioglobina se torna vermelho brilhante como o da oxihemoglobina além de mais estável (MACDOUGALL, 1982).

Estudos realizados nos últimos 40 anos sobre diferentes tipos de carnes frescas irradiadas atestaram a necessidade de usar a irradiação combinada com outras tecnologias tais como a atmosfera modificada no empacotamento a fim de diminuir qualquer alteração no sabor, cor e odor (LEE *et al.* 1996).

Urbain [b] (1986) evidencia que dentre os tipos de carne, a carne bovina talvez seja a mais suscetível às mudanças que limitam a vida comercial, devido à descoloração ser a primeira evidência de deterioração que é mais perceptível em carnes em virtude da sua alta pigmentação comparada aos outros tipos.

Bactérias gram-negativas habitualmente estão envolvidas na deterioração de carnes frescas e estas são muito sensíveis à irradiação. Normalmente bactérias gram-positivas são menos sensíveis a irradiação do que os bastonetes gram-negativos. A *Salmonella typhimorium* que é um bacilo gram-negativo foi o mais resistente dentre os microrganismos dessa classe (0,17 kGy) porém menos resistente que a gram-positiva *Listeria monocytogenes* (0,22 kGy). Vários pesquisadores concordam que a *Salmonella* é o patógeno gram-negativo mais resistente, logo qualquer processo de irradiação que inative esse microrganismo inativa as demais gram-negativas (DION; CHARBONNEAU; THIBAUT, 1994; MONK *et al.* 1995).

4.6.2.4 Carne de suínos

A irradiação gama foi utilizada com sucesso para controlar a contaminação microbiana em carnes. Fu e colaboradores (1995) verificaram que doses baixas de radiação (0,75 e 0,90 kGy) em costelas de porco reduziram o número de células viáveis de *Listeria monocytogenes* e de *Salmonella typhimurium*. No mesmo estudo, após o uso de doses médias (1,8 e 2,0 kGy), populações de microrganismos patógenos foram reduzidos a níveis indetectáveis. Além disso, os autores demonstraram que os atributos sensoriais da carne como cor e odor não foram afetados pela irradiação.

Segundo Keener (2009) uma dose baixa de irradiação entre 0,3 e 1,0 kGy inativa o parasita *Trichinella spiralis* em carne de porco e que a dose de 1,0 kGy em cortes de carne de porco embalados a vácuo armazenadas por até 21 dias a 4°C diminui o número de mesófilos, psicotróficos e estafilococos durante o armazenamento.

Ventura e colaboradores (2010) determinaram que gêneros como *Staphylococcus* e *Micrococcus* prevaleceram em amostras submetidas a uma dose de 0,57 kGy. O tratamento com uma dose de 1,0 kGy foi eficaz para prolongar o tempo de armazenamento e produziu ligeiras alterações na cor e no odor. Doses de 2,5 kGy tornaram a carne inaceitável devido ao odor causado pela oxidação lipídica.

A irradiação, na presença de oxigênio, como em outras amostras de carnes surtiu efeitos negativos sobre as características químicas e sensoriais da carne.

4.6.2.5 Carnes processadas

As quantidades de nitrito e formação de nitrosaminas são reduzidas pelo uso da radiação. O bacon irradiado teve seus níveis de nitrito reduzidos de 120-150 para 20-40 mg.kg⁻¹ sem perda das qualidades sensoriais.

Bactérias produtoras de ácido lático são as espécies dominantes em produtos curados, sendo essas as mais resistentes à irradiação. Doses de 1,0 a 2,0 kGy inativam *Enterobactériaceae* e as alterações sensoriais foram mínimas (CALÇADA *et al.*, 2010; VENTURA *et al.*, 2010).

4.6.2.6 Peixes e produtos do peixe

Pensava-se que a extensão da vida útil e eliminação de patógenos de pescados frescos poderiam ser alcançados com doses relativamente baixas de até 2,5 kGy. Entretanto, o *Clostridium botulinum* presente em peixes permaneceu inalterável, visto que é um microrganismo resistente a essa dose (CALÇADA *et al.*, 2010).

Estudos sobre os efeitos posteriores à radiação de carapau espanhol (*Trachurus trachurus*) armazenado até 20 dias a 2°C constataram que a formação de nitrogênio básico volátil foi menor nos peixes irradiados do que nos não irradiados além, do valor de alguns ácidos graxos diminuir enquanto outros aumentaram (CALÇADA *et al.*, 2010; VENTURA *et al.*, 2010).

4.7 SEGURANÇA DE ALIMENTOS IRRADIADOS

Atualmente no Brasil a comercialização de produtos irradiados se resume basicamente a condimentos e temperos destinados a alimentos industrializados. Isso se deve aos vários obstáculos para a ampla comercialização de demais produtos irradiados, ao qual se destacam o seu custo e a aceitação dos consumidores (ORNELLAS *et al.* 2006; SILVA; ROZA, 2010).

Apesar de cientificamente aceito como um ótimo método de conservação de alimentos e ser capaz de inativar patógenos em alimentos crus e congelados com mínimas alterações nutricionais, o progresso no uso comercial tem sido lento. A visão negativa da população que relacionam os termos irradiação e radioatividade com males a saúde. Além de associar aos históricos acidentes, no Brasil o caso com o

Césio 137 em Goiânia e os acidentes em Chernobyl e Fukushima (ORNELLAS *et al.* 2006; MONDANEZ, 2012).

A informação que o público brasileiro tem dos métodos de conservação, em especial, a irradiação, é escassa. Todavia, quando providos de conhecimentos específicos dos métodos de conservação, nota-se um aumento significativo do número de consumidores seguros do consumo de alimentos irradiados. Com isso averigua-se a importância de campanhas realizadas pelos órgãos do governo responsáveis em conjunto com a vigilância sanitária e as indústrias, com o intuito de esclarecer os benefícios e vantagens desse tipo de tratamento (LANDGRAF, 2002; MODANEZ, 2012).

Silva e colaboradores (2010) defendem que o método de irradiação de alimentos é um método promissor para o futuro, contudo, é indispensável que nutricionistas e órgãos do governo invistam na divulgação para mudar essa visão negativa dos consumidores para com esses alimentos.

Segundo Cattaruzzi (2012) não há riscos ambientais ou à saúde humana no processo de radiação ionizante em alimentos quando conduzido corretamente. No processo de irradiação podem ocorrer mínimas alterações químicas, sendo consideradas pela OMS alterações insignificantes.

4.8 DESVANTAGENS QUANTO AO USO DA IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS

Com o uso da radiação iônica é possível obter uma sucessão de vantagens, como a possibilidade de reduzir a carga microbiana de alimentos já embalados ou não (ANDREUCCI, 2014). De maneira geral, a técnica de irradiação é utilizada para eliminar microrganismos e parasitas e conseqüentemente reduzir perdas de safras, impossibilitar alterações bioquímicas, e inibir germinação de raízes e, portanto, prolongar a vida útil do alimento com uma boa qualidade higiênico sanitária (IAEA, 1985; NASCIMENTO, 1992; GAONKAR, 1995; VILLAVICENCIO, 1998; MALISKA, 2000; SANTOS *et al.*, 2003; ABREU *et al.*, 2008).

Porém, o uso dessa tecnologia possui algumas limitações, como seu alto custo de implementação ligado a falta de consumidores e a cultura contrária a irradiação que dificultam ainda mais sua implantação. Outra desvantagem desse processo é o fato de não poder ser aplicado em todos os tipos de alimentos, como os

alimentos com alto teor de gordura que por consequência podem sofrer rancificação oxidativa. Além da possibilidade de perda nutricional no alimento e da capacidade de alguns microrganismos de adquirirem uma resistência a radiação (SILVA, 2000; FELLOWS, 2008).

Os alimentos líquidos como o leite são mais predispostos à radiólise podendo ganhar um sabor desagradável (SILVA, 2007).

A radiação também é capaz de promover modificações na estrutura dos materiais das embalagens alterando suas propriedades químicas e mecânicas. Por isso, os materiais utilizados nesses processos devem sempre possuir resistência à radiação, não podendo sofrer redução em suas propriedades de proteção, produzir odores e sabores desagradáveis ou transmitir substâncias tóxicas (SCOTT, 1990; GOULAS *et al.*, 2003).

Conforme Borali (2008) uma das barreiras do método é a rejeição do consumidor devido à falta de informação sobre o processo de irradiação e interpretações errôneas da população.

A reação dos consumidores quando perguntados sobre o consumo de alimentos irradiados não é positiva, devido ao fato de relacionarem o consumo desses alimentos ao surgimento de câncer, e isso, tem dificultado a utilização desse processamento (FOX, 2002; CREDE, 2005).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processamento de alimentos com a radiação ionizante é capaz de conservar os alimentos alterando estruturas moleculares e impedindo a divisão de células vivas através da aplicação de radiação do tipo gama, raios X ou feixe de elétrons. Para o emprego desse processo tecnológico, é indispensável avaliar os efeitos químicos, físicos e sensoriais causados pela interação da radiação ionizante com o alimento.

A técnica de irradiação é influenciada por diversos fatores, tais como: estado físico do alimento, temperatura, umidade, atmosfera do alimento e a presença ou não de oxigênio. Por essa razão, são determinados procedimentos e doses particulares para cada tipo de alimento a ser irradiado, conforme as legislações vigentes com o intuito de não oferecer risco toxicológico ao consumidor.

Como apresentado nessa revisão bibliográfica, o processamento de alimentos através do método de irradiação, assim como outros métodos de conservação, possui vantagens e limitações. Uma grande vantagem é a oferta de um produto final seguro, além de não causar alterações nutricionais com pouca ou nenhuma alteração sensorial no alimento, enquanto as desvantagens se restringem a essas pequenas alterações sensoriais e a preocupação dos consumidores em consumir alimentos irradiados. Com isso se torna necessário a divulgação correta a respeito das vantagens e segurança desse método.

REFERÊNCIAS

- ABREU, M.G.; FREITAS, M.Q.; JESUS, E.F.O. Caracterização sensorial e análise bacteriológica do peixe- sapo (*Lophius gastrophysus*) refrigerado e irradiado. **Ciência Rural**, v.38, n.12, p.498-503 2008.
- ALFEREZ. Consultoria e Assessoria Radiologia. Nós e as radiações. **Informativo CRTR06**. 2004.
- ANDREUCCI, Ricardo. Iniciação à Radiologia Industrial. São Paulo: ABENDE, 2014.
- ANDREWS, L. S.; AHMEDNA, M.; GRODNER, R. M.; LIUZZO, J. A.; MURANO, P. S.; MURANO, E. A.; RAO, R. M.; SHANE, S.; WILSON, P. W. Food preservation using ionizing radiation. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**, 154, 1998.
- BORALI, Catarina. Irradiação de alimentos. 22 f. Monografia (Graduação em Nutrição) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.
- BRANKA, K., M. BRANKA, AND R. DUSAN. Radiation-induced oxidative chemical changes in dehydrated egg products. *J. Agric. Food Chem.* 40:662–666. 1992.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). RDC nº 21, de 26 de janeiro de 2001. Aprova o Regulamento técnico para irradiação de alimentos. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 26 jan. 2001.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Instituto de Energia Nuclear (IEN). Radiação gama é usada na preservação do patrimônio brasileiro. 2005.
- BYUN, M. W.; KANG, IL-JUN; KNOW, JOONG-HO, HAYASHI, Y.; MORI, T. Physicochemical properties of soybean oil extracted from γ -irradiated soybeans *Radiation Physics and Chemistry*, Oxford, v. 47, n. 2, p. 301-304, 1996.
- CALÇADA, A.; AMARAL, A.; MARTINS, I.; JORDÃO, L.; MENDES, M. Preservação de alimentos por irradiação. Escola Superior Agrária de Coimbra – Processamento Geral de Alimentos, Módulo 2, 2010.

CANIZARES M. C. Qualidade da Carne de Frango Submetida à Irradiação ou Atmosfera Modificada e Armazenada por Diferentes Períodos. São Paulo. 2008.

CATTARUZZI, E.B. Análise sobre a predisposição do consumidor em arcar com o custo do alimento processado por radiação ionizante. 110p. Tese. (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear). IPEN/USP, São Paulo. 2012.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. Pós-colheita de frutas e hortaliças, **Lavras: FAEPE**, 293 p. 1990.

CREDE, R. G. Estudos dos efeitos da radiação gama e de aceleradores de elétrons na detecção de grãos de milho (*Zea mays*) geneticamente modificado. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) – IPEN/Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

DIEHL, J. F. Food irradiation - past, present and future. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 63, p. 211-215, 2002.

DIEHL, J.F. **Safety of irradiated food**. 2nd Edition, Marcel Dekker, New York. 1995.

DION, P.; CHARBONNEAU, R; THIBAULT, C. Effect of ionizing dose rate on the radioresistance of some food pathogenic bacteria. **Canadian Journal of Microbiology**, vAO, p.369-374, 1994.

EVANGELISTA, J. Alimentos - um estudo abrangente. 2.ed. São Paulo: Livraria Atheneu Editora, 740p, 1994.

FAO. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. Código de práticas para el tratamiento de los alimentos por irradiación. Vienna: FAO/WHO, 1979. 36, n.1/2, p.87-121, 1996.

FARKAS, J.; FARKAS-MOHÁCSI, C. History and future of food irradiation. **Trends in Food Science & Technology**, v. 22, p. 121-126, 2011.

FELLOWS, P.J. Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática. 2.ed. Porto Alegre: Artmed, 602 p, 2006.

FOX, J. A. Influences on purchase of irradiated foods. **Food Technology**, v.56, n. 11, p. 3437, 2002.

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

GAONKAR, A.G. Food processing: recent development. New York: **Elsevier Science & Technology Books**, 1995.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOULAS, A.E.; RIGHANAKOS, K.A.; KONTIMINAS, M.G. Effect of ionizing radiation on physicochemical and mechanical properties of commercial multilayer coextruded flexible plastics packing materials. **Radiation Physics and Chemistry**. 2003.

GRANDISON, A. S. Irradiation. In: BRENNAN, J. G. (Ed). **Food processing handbook**. Weinheim: WILEY-VCH Verlag, p. 147-171, 2006.

HACKWOOD, S. An introduction to the irradiation processing of food. In: THORNE, S. Food irradiation. London: **Elsevier Applied Science Publishers**, 1991.

HACKWOOD, S. An introduction to the irradiation processing of food. In: THORNE, S. Food irradiation. London: **Elsevier Applied Science Publishers**, 1991.

HAYASHI, T. Comparative effectiveness of gama-rays and electron beams in food irradiation. In: STUART THORNE (Ed.) Food Irradiation. **London: Elsevier**, 1991.

HERNANDES, N. K.; VITAL, H. C.; SABAA-SRUR, A. U. O. Irradiação de Alimentos: Vantagens e Limitações. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos** 2003.

IAEA. International Atomic Energy Agency. La irradiación de alimentos en latinoamerica (IAEA – TECDOC – 331). Vienna, 1985.

JAY, J. M.; LOESSNER, M. J.; GOLDEN, D. A. Radiation protection of foods and nature of microbial radiation resistance. In: JAY, J. M.; LOESSNER, M. J.; GOLDEN,

D. A. (Eds.). Modern food microbiology. 7th ed. **New York: Springer**, p. 371-390. 2005.

KAMPELMACHER, E. H. Irradiation of Food: a new technology for preserving and ensuring the hygiene of foods. **Fleischwirtschaft**, 64:322-327, 1984.

KEENER, K, M. Food Irradiation. Fact Sheet (FSR 98-13). Raleigh, NC: North Carolina State University, **Department of Food Science**, 2009.

FU, A. H.; SEBRANEK, J. G.; MURANO, E. A. Survival of *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica* and *Escherichia coli* O157:H7 and quality changes after irradiation of beef steaks and ground beef. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 60, n.5, p. 972–977, 1995.

KILCAST, D. Effect of irradiation on vitamins. **Food Chemistry**, Great Britain, v. 49, n. 2, p. 157-164, 1994.

KOMOLPRASERT, V.; MOREHOUSE, K.M. Irradiation of Food and Packaging. 1. Ed. Silver Spring, **MD American Chemical Society**, (ACS Symposium Series, Book 875) 2004.

LANDGRAF, Mariza. Fundamentos e Perspectivas da irradiação de alimentos visando ao aumento de sua segurança e qualidade microbiológica. 2002. 91 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

LAWRIE, R. A. Meat Science, 5th ed. New York: **Pergamon Press**, p.90-100, 1991.

LAWRIE, R. A. Meat science. Oxford [Oxfordshire]; New York: **Pergamon Press**, 1985.

LEE, M.; SEBRANEK, J.G.; OLSON, D.G. et al. Irradiation and packaging of fresh meat and poultry. **Journal of Food Protection**, v.59, n.1, p.62-72, 1996.

MACDOUGALL DB. Changes in the colour and opacity of meat during processing and storage. **Food Chemistry** 9(1/2) 75–88, 1982.

MALISKA, C. **Conservação de alimentos por irradiação**. Higiene alimentar, Minas Gerais, v.11, n.68/69, p.6-17, 2000.

MILLAR, S.J.; MOSS, B.W.; STEVENSON, M.H. The effect of ionizing radiation on the color of leg and breast of poultry meat. **Meat Science**, 55(3):361-371, 2000.

MIYAGUSKU, L. *et al.* Avaliação microbiológica e sensorial da vida útil de cortes de peito de frango irradiados. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v.23 (supl), p.7-16, dez., 2003.

MONDANEZ, L. Aceitação de alimentos irradiados: uma questão de educação. São Paulo. Tese. (Doutorado em Ciências na área de tecnologia nuclear). IEPN/USP disponível em:
<http://pelicano.ipen.br/posg30/textocompleto/leila%20modanez_d.pdf> 2012.

MONK, D.J.; BEUCHAT, L.R; DOYLE, M.P. Irradiation inactivation of foodborne microorganisms. **Journal of Food Protection**, v.58-,n.2, p.197-208, 1995.

NASCIMENTO, L.M. Efeito da radiação gama (Co60) nas propriedades físico-químicas e sensoriais de feijões envelhecidos (*Phaseolus vulgaris*). São Paulo, 1992. 135f . Tese (Doutorado)- Universidade São Paulo, São Paulo, 1992.

NISIZAWA, M. Studies on irradiation of agar agar in the solid-state - on the changes of water holding capacity of agar agar hydrogel produced by irradiation. **Journal of Applied Polymer Science**, New York, v. 36, n. 7, p. 1673-1676, 1988.

ORDÓÑEZ J. A.; CAMBERO M. I.; FERNÁNDEZ L.; GARCIA M. L.; FERNANDO G. D.; PERALES L. H.; SELGAS M. D. **Tecnologia de Alimentos Vol. 1** Componentes dos Alimentos e Processos, 2005.

ORNELLAS, C. B. D.; GONÇALVES, M. P. J.; SILVA, P. R.; MARTINS, R. T. Atitude do consumidor frente à irradiação de alimentos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 1, p. 211 – 213, janeiro/março, Disponível em:
<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612006000100033> 2006.

PATIL, B.S. Irradiation applications to improve functional components of fruits and vegetables. In: KOMOLPRASERT, V.; MOREHOUSE, K.M. Irradiation of Food and Packaging. 1. Ed. Silver Spring, **MD American Chemical Society**, (ACS Symposium Series, Book 875) 2004.

PATTERSON, M. Sensitivity of *Listeria monocytogenes* to irradiation on poultry meat and in phosphate-buffered saline. **Lett. Appl. Microbiol.**, v. 8, p. 181 - 184, 1989.

PEREDA, J. A. O. Em Tecnologia de Alimentos: Componentes dos Alimentos e Processos. Porto Alegre: Artmed, 2005.

POLIZEL, G. G. O uso da radiação no controle microbiológico dos alimentos de origem animal. 2006. 38 f. Monografia (Especialização em Higiene e Inspeção de Produtos de Origem Animal e Vigilância Sanitária e Alimentos) - Universidade Castelo Branco, Rio de Janeiro, 2006.

RELA, P. R. Desenvolvimento de dispositivo de irradiação para tratamento de efluentes industriais com feixe de elétrons. São Paulo, 131p. (Tese de Doutorado. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo) 2003.

RODRÍGUEZ, H.R. Low dose gamma irradiation and refrigeration to extend shelf life of aerobically packed fresh beef round, *J. Food Prot.*, v.56, n.6, p. 505-509, 1993

SANTOS, A.F. *et al.* Determinação da dose de radiação gama para reduzir a população de *Salmonella* spp em carne de frango. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v.23, n.2, p.200-205, 2003.

SANTOS, A.F.; VIZEU, D.M; DESTRO, B.D.G.M. *et al.* Determinação da dose de radiação gama para reduzir a população de *Salmonella* spp. em carne de frango. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.23, n.2, p.200-205, 2003.

SAPCHENCO, N. As Tecnologias de feixe de elétrons e Raios-X da Surebeam. In: 1º Seminário Internacional De Irradiação De Alimentos, 2003, Campinas. **Anais. Campinas:** Instituto de Tecnologia de Alimentos, 2003.

SARJEANT, K.C.; WILLIAMS, S.K.; HINTON, A.; RODRICK, G.E. The survival of *salmonella typhimurium* and psychrotrophic bacteria on commercial chicken breast meat treated with high energy electron beam irradiation and stored at 4c for 14 days [abstract]. Southern Poultry Science Society Meeting Abstracts. 82(Suppl.1): 19. 2003.

SATO, S. General view of electron accelerator utilization. *In*: Proceedings of the workshops on the utilization of electron beams. JAERI-M/93-160, Bangkok e Jakarta, 1993.

SCOTT, G. Mechanisms of polymer degradation and stabilization. New York, N.Y.: **Elsevier Applied Science**, 1990.

SILVA, A. L. F.; ROZA, C. R. Uso da irradiação em alimentos: revisão. **Boletim Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 28, n. 1, p. 49 – 56, janeiro/junho, 2010.

SILVA, É.F.S. Irradiação em alimentos. Disponível em:<<https://revistas.ufpr.br/alimentos/article/view/17897/11712>> 2007.

SILVA, K. D. *et al.* Conhecimento e atitudes sobre alimentos irradiados de nutricionistas que atuam na docência. **Revista: Ciência Tecnologia Alimento**, Campinas. v. 30, n. 3, p. 645 – 651, 2010.

SOUZA, A.; ARTHUR, V.; CANNIATTI-BRAZACA, S. Influência da radiação gama e de diferentes dietas na qualidade de carnes de cordeiro Santa Inês. Campinas. 2009.

TSAI, D. aplicação de radiação por feixes de elétrons como agente esterelizante de microrganismos em substrato turfoso. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo-SP, 2006.

THOMAS, M. H.; ATWOOD, B. M.; WIERBIEKI, E.; TAUB, I. A. Effect of radiation and conventional processing on the thiamin content of pork. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 46, n. 3, p. 824-828, 1981.

URBAIN, W. M. (Ed.). Food Irradiation. Food Science and Technology-A series of monographs. Florida: **Academic Press Inc.**, 1986. [a]

URBAIN, W.M. Food irradiation. **London: Academic**, p. 170-215, 1986. [b]

URBAIN, W.M. Radurization and radicidation: Meat and poultry. In: JOSEPHSON, E.S.; PETERSON, M.S. Preservation of food by ionizing radiation. 1.ed. Boca Raton: **CRC Press**, 1983.

VENTURA, D; RUFINO, J; NUNES, C; MENDES, N; Utilização da irradiação no tratamento de alimentos. P. 4; 2010

VILLAVICENCIO, A.L.C.H. Avaliação dos efeitos da radiação ionizante de Co60 em propriedades físicas, químicas e nutricionais dos feijões *Phaseolus vulgaris* L. e *Vigna unguiculata* (L.) Walp. 1998. 138f . Tese (Doutorado)- Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

WHO. World Health Organization. Wholesomeness of irradiated food. Geneva, 1981.

WIENDL, F. M. A salubridade dos alimentos irradiados. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.18, n. 1, p. 48-56, 1984.

YOON, K. S. Effect of gamma irradiation on the texture and microstructure of chicken breast meat. **Meat Science**, 273–277 2003.

ZEB, A.; TAUFIQ, A. The high dose irradiation affect the quality parameters of edible oils. Pakistan **Journal of Biological Sciences**, v.7, n.6, p. 943-946, Disponível em: < www.ansinet.org/detail_issue.php> 2004.

ZHONG, K.; HU, X.; ZHAO, G.; CHEN, F.; LIAO, X. Inactivation and conformational change of horseradish peroxidase induced by pulsed electric field. **Food Chemistry**, v. 92, p. 473-479, 2005.