

## Artigo

**Radiação Gama em Produtos de Origem Vegetal****Tezotto-Uliana, J. V.;**\* **Silva, P. P. M.;** **Kluge, R. A.;** **Spoto, M. H. F.***Rev. Virtual Quim.*, 2015, 7 (1), 267-277. Data de publicação na Web: 3 de novembro de 2014<http://www.uff.br/rvq>**Gamma Radiation in Plant Foods**

**Abstract:** Food irradiation is the most studied and evaluated worldwide treatments. The term radiation refers to the physical phenomenon in which radiant energy moves through the space or matter in the form of electromagnetic waves, such as microwave, infrared, ultraviolet, X-rays and gamma rays. In foods, the most commonly used technique relies on irradiation using a specific band of electromagnetic energy radiation known as ionizing radiation with gamma rays. The purpose is to sterilize or reduce decay, disinfect vegetables from insects and parasites, delay fruit ripening and inhibit sprouting roots. However, as all technological process, irradiation has disadvantages. It can be said that, as the other postharvest technologies, the use of gamma radiation results in advantages and quality to fruits and vegetables since applied correctly and at the right moment. Current legislation and the specific requirement of the species and cultivar must be respect. If these caution are taken, the use of irradiation results in healthy and safe products without quality degradation and without postharvest losses.

**Keywords:** Irradiation; postharvest quality; fruit; vegetable; decay.

**Resumo**

A irradiação de alimentos é um dos tratamentos mais estudados e avaliados em todo o mundo. O termo radiação designa o fenômeno físico pelo qual a energia radiante se move através do espaço ou matéria na forma de ondas eletromagnéticas, como por exemplo, micro-ondas, infravermelhas, ultravioleta, raios X e raios gama. Em alimentos, a técnica de irradiação mais utilizada baseia-se no uso de uma faixa específica da energia eletromagnética conhecida como radiação ionizante com raios gama. O propósito é esterilizar ou reduzir a contaminação de micro-organismos patogênicos, desinfetar os vegetais de insetos e parasitas, retardar o amadurecimento de frutos e inibir o brotamento de raízes. Entretanto, como todo processo tecnológico, a irradiação possui desvantagens. Pode se afirmar que, assim como as demais técnicas de conservação pós-colheita, o uso da radiação gama traz benefícios e qualidade às frutas e hortaliças desde que aplicado de forma correta e no momento certo. Também é preciso atender a legislação vigente e as necessidades específicas de cada espécie e cultivar. Se esses cuidados forem tomados, o uso da irradiação resulta em produtos saudáveis e seguros, sem degradação da qualidade e sem perdas pós-colheita.

**Palavras-chave:** Irradiação; qualidade pós-colheita; frutas; hortaliças; podridão.

\* Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Departamento de Ciências Biológicas, Av. Pádua Dias, 11, CP 9, CEP 13418-900, Piracicaba-SP, Brasil.

✉ [jaqueline.tezotto@usp.br](mailto:jaqueline.tezotto@usp.br)

DOI: [10.5935/1984-6835.20150013](https://doi.org/10.5935/1984-6835.20150013)

## Radiação Gama em Produtos de Origem Vegetal

**Jaqueline V. Tezotto-Uliana,\* Paula P. M. da Silva, Ricardo Alfredo Kluge,  
Marta Helena F. Spoto**

Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Departamento de Ciências Biológicas, Av. Pádua Dias, 11, CP 9, CEP 13418-900, Piracicaba-SP, Brasil.

\* [jaqueline.tezotto@usp.br](mailto:jaqueline.tezotto@usp.br)

*Recebido em 3 de novembro de 2014. Aceito para publicação em 3 de novembro de 2014*

- 1. Introdução**
- 2. Raios gama e a radiólise**
- 3. Controle de patógenos**
- 4. Variáveis a serem controladas na irradiação: dose, conteúdo de água e temperatura**
- 5. Alterações na composição do alimento**
- 6. Salubridade e segurança de alimentos irradiados**
- 7. Legislações relacionadas aos alimentos irradiados: Brasil, União Europeia e EUA**
- 8. Pesquisas desenvolvidas com irradiação em frutas e hortaliças**
- 9. Considerações finais**

### **1. Introdução**

---

O uso da radiação em alimentos é conhecido desde a antiguidade, quando se costumava preservar carnes, peixes, frutas e vegetais através da energia solar. A partir de 1895, com a descoberta da radioatividade, a radiação ionizante passou a ser utilizada como técnica de conservação de alimentos. Neste mesmo ano, uma publicação alemã, sugeriu que o uso da energia ionizante destruía os micro-organismos patogênicos e deteriorantes em alimentos, contribuindo para o interesse no avanço dos estudos sobre irradiação de alimentos. No início de 1900,

essa tecnologia foi patenteada nos Estados Unidos da América (EUA) e Reino Unido.<sup>1</sup>

A era moderna da aplicação de irradiação iniciou-se após a II Guerra Mundial, quando outras fontes ionizantes tornaram-se disponíveis. Provada sua viabilidade técnica e comercial em alimentos, iniciou-se novas pesquisas visando à segurança e a aplicabilidade. No Brasil, a primeira pesquisa sobre irradiação em alimentos data de 1968, por pesquisadores do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), surgindo, logo em seguida, em 1973, a primeira regulamentação sobre seu uso.<sup>1,2</sup>

A irradiação de alimentos é um dos tratamentos mais estudados e avaliados em

todo o mundo. A técnica consiste da exposição dos alimentos a uma fonte controlada de radiação ionizante, durante um determinado período de tempo. O propósito é esterilizar ou reduzir a contaminação de micro-organismos patogênicos, desinfetar os vegetais de insetos e parasitas, retardar o amadurecimento de frutos e inibir o brotamento de raízes. Tais efeitos contribuem para o aumento da vida útil dos alimentos e o seu suprimento nos períodos de entressafra.<sup>3,4</sup>

O consumo de alimentos irradiados não apresenta efeitos nocivos desde que o tratamento seja realizado dentro de certos limites, em condições controladas e com uso de fontes ionizantes permitidas. Ressalta-se que os alimentos irradiados podem ser transportados, armazenados ou consumidos imediatamente após o tratamento, tendo-se em vista que a irradiação não deixa resíduo.<sup>5</sup>

Tal fato é uma vantagem importante quando comparado ao uso de produtos químicos nas frutas ou hortaliças, devido à forte tendência de se minimizar sua utilização.<sup>6</sup> Outra vantagem é a não alteração da temperatura do produto irradiado, o que permite que o tratamento seja realizado em produtos já embalados, evitando a recontaminação ou reinfestação.<sup>7</sup>

Entretanto, como todo processo tecnológico, a irradiação possui desvantagens. Em alguns alimentos de origem vegetal podem ocorrer alterações químicas que afetam suas propriedades sensoriais. Os danos celulares promovidos pela irradiação podem causar amolecimento e criar compostos oxidativos como aldeídos, cetonas e alcoóis. Ademais, a irradiação não elimina vírus e príons de origem alimentar.<sup>8</sup> O alto custo capital e a resistência do público e indústria à energia nuclear também são impasses a essa tecnologia.

Com base no exposto, o propósito deste trabalho é apresentar os principais tópicos referentes à irradiação de alimentos de origem vegetal com raios gama, evidenciando as pesquisas relevantes até o momento.

## 2. Raios gama e a radiólise

O termo radiação designa o fenômeno físico pelo qual a energia radiante se move através do espaço ou matéria na forma de ondas eletromagnéticas, como por exemplo, micro-ondas, infravermelhas (IF), ultravioleta (UV), raios X e raios gama. Em alimentos, a técnica de irradiação mais utilizada baseia-se no uso de uma faixa específica da energia eletromagnética conhecida como radiação ionizante com raios gama.<sup>9</sup>

Nesse caso, a fonte de energia é o isótopo Cobalto 60 ( $^{60}\text{Co}$ ), o qual é fabricado a partir da alta purificação do  $^{59}\text{Co}$ , que não é radioativo. Depois de purificado, o  $^{59}\text{Co}$  é comprimido, hermeticamente, em pequenas cápsulas cilíndricas que são cuidadosamente encaixadas em tubos de aço limpos. Esses tubos são depositados num reator nuclear onde são bombardeados constantemente com nêutrons, originando o  $^{60}\text{Co}$ . Como o Cobalto 59 está disponível em grandes quantidades na natureza, com custo aceitável e os raios gama têm adequado poder de penetração no tratamento de alimentos, a radiação gama tornou-se uma das mais utilizadas na indústria alimentícia.<sup>5,9-11</sup>

Os raios gama agem decompondo as substâncias que compõe o produto irradiado, que é o processo denominado radiólise. Em alimentos, a radiólise tem efeito químico primário e secundário.<sup>9</sup> O primário ocorre diretamente nos compostos que absorvem energia da irradiação e pode trazer mudanças irreversíveis. O secundário ocorre quando os produtos primários interagem com eles mesmos ou com outros componentes do produto, resultando em substâncias alheias à sua composição inicial, os chamados produtos radiolíticos. A intensidade da radiólise depende da composição do alimento tratado, das condições de processamento e da dose de radiação absorvida.<sup>5</sup>

A água, principal componente dos alimentos de origem vegetal, sofre efeitos indiretos da radiação. Os produtos

resultantes da radiólise da água são os radicais hidroxila ( $\text{OH}\bullet$ ), elétron aquoso ou hidratado ( $\text{e}^-_{\text{aq}}$ ), radical hidrogênio ( $\text{H}\bullet$ ), hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) e próton hidratado ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ). Enquanto os radicais  $\text{OH}\bullet$ ,  $\text{e}^-_{\text{aq}}$  e  $\text{H}\bullet$  são espécies transitórias muito reativas,  $\text{H}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}_2$  são produtos finais estáveis dessa reação, cujas quantidades são determinadas pela dose aplicada. No entanto, deve ressaltar que estes produtos são altamente reativos. Elétrons e átomos de hidrogênio são agentes redutores e o radical hidroxila é oxidante, da mesma forma que o  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Eles reagem com inúmeras substâncias quando estão dissolvidos em água, podendo também, formar moléculas de água.<sup>12,13</sup>

Embora alguns desses radicais se percam ao formarem novamente moléculas de água, a maioria deles intervém de forma decisiva na radiólise. Seu efeito é ainda maior na presença de oxigênio, quando se formam peróxidos e superperóxidos de grande reatividade. Em associação, a presença desses radicais condiciona reações de oxidação e de redução, provocando o desequilíbrio nos processos de oxirredução enzimática e, conseqüentemente, a desestabilização metabólica.<sup>5</sup>

### 3. Controle de patógenos

Os micro-organismos são inativados quando expostos a fatores que alteram sua estrutura celular ou funções fisiológicas. A radiação gama causa danos ao seu DNA e, em menor extensão, ocorre desnaturação de proteínas. As lesões letais ao DNA são espalhadas através das células durante o processo de divisão celular, e as que são incapazes de reparar tais danos morrem.<sup>14</sup>

Nos micro-organismos, o dano celular causado pela ação direta da radiação ionizante é resultado da energia transferida dentro da própria molécula. Outro tipo de efeito, o ambiental por exemplo, pode ser causado por radicais livres ou outros

compostos radiolíticos formados extracelularmente, mas também são letais à célula. Espécies reativas de radicais livres causam danos em micro-organismos através do ataque de moléculas dentro da célula ou pela oxidação da parede celular. O radical hidroxila pode extrair um átomo de hidrogênio do DNA, o deixando com um radical livre com conseqüente inativação.<sup>9</sup>

A reação do peróxido de hidrogênio e do radical hidroxila, produtos diretos da radiólise da água, com o DNA dos micro-organismos causa quebras das ligações químicas e leva à perda da capacidade da célula de se replicar. Uma alteração relativamente pequena do DNA de uma célula bacteriana pode destruí-la, ou permitir a destruição de insetos e a inativação de parasitas.<sup>8</sup>

É importante ressaltar que a inativação de uma população microbiana, assim como a destruição de insetos e parasitas, segue um curso praticamente exponencial, o que significa que, independentemente da extensão da dose aplicada, existe uma probabilidade finita de micro-organismos sobreviventes.<sup>15</sup>

A sensibilidade à radiação de muitos bolores (fungos filamentosos) é da mesma ordem e magnitude que a de bactérias vegetativas. No entanto, fungos com hifas tem uma resistência à radiação comparável à de esporos bacterianos. As leveduras são tão ou até mais resistentes que as bactérias; e os vírus são altamente resistentes à radiação.<sup>16</sup>

### 4. Variáveis a serem controladas na irradiação: dose, conteúdo de água e temperatura

Dentre todas as variáveis controladas na irradiação de alimentos, a dose é a mais importante. Conforme o *International Commission on Radiation Units and Measurements*,<sup>17</sup> a dose absorvida é a energia média cedida pelas radiações

ionizantes num volume de elemento dividido pela massa da matéria desse elemento em volume. Trata-se da quantidade de energia absorvida por uma determinada massa de alimento. Sua unidade internacional é o Gray (Gy) que corresponde à absorção de 1 J por kg de material absorvente (alimento). Para regular a dose absorvida, é necessário considerar a produção de energia da fonte por unidade de tempo, a distância entre a fonte e o produto e o tempo de exposição.<sup>5,12</sup>

Na indústria de alimentos, os tratamentos com radiações ionizantes foram classificados em três categorias de acordo com a dose aplicada: a primeira, as “Doses Altas”, entre 10 e 50 kGy, são utilizadas para a esterilização dos produtos; as “Doses Médias”, entre 1 e 10 kGy, possuem o mesmo efeito da pasteurização, atribuindo aos alimentos extensão de sua vida útil; e as “Doses Baixas”, de até 1 kGy, são aplicadas no controle da infestação dos produtos por parasitas e insetos, e para retardar a senescência em frutas frescas e o brotamento em vegetais.<sup>5,9</sup>

Com relação à atividade de água, sabe-se que vegetais com menor quantidade de água, principalmente os alimentos secos e congelados, ou aqueles com muito açúcar, têm os efeitos indiretos dos produtos radiolíticos minimizados, aumentando a resistência dos micro-organismos à radiólise. Em alimentos, a radiólise tem efeito químico primário e secundário.<sup>9</sup>

Sabe-se que o movimento dos radicais livres, resultantes da radiação, reduz com a diminuição da temperatura. Com menos movimentos a nível molecular, a formação de produtos radiolíticos secundários também é reduzida, assim, se o objetivo da radiação for a esterilização do alimento, o congelamento deve ser considerado para manter a qualidade sensorial e reduzir as alterações químicas.<sup>9</sup>

## 5. Alterações na composição do alimento

A irradiação de alimentos pode resultar na redução de alguns nutrientes, principalmente as vitaminas A, C e E, em virtude de serem sequestradoras de radicais livres e reduzidas após a radiação com doses altas. A natureza e extensão destas perdas dependem da composição do alimento, principalmente do conteúdo de água, da dose de radiação, da temperatura e da presença ou ausência de oxigênio no processo.<sup>4,18</sup>

A presença de oxigênio durante o processo de radiação pode promover alterações químicas nos alimentos, pois a molécula O<sub>2</sub> é capaz de reagir com outros radicais, formando os radicais peróxidos, com consequente auto-oxidação. Alimentos que contêm lipídios são particularmente afetados pelo O<sub>2</sub> durante a irradiação, podendo desenvolver *off-flavor* ou rancidez.<sup>13</sup>

O desenvolvimento de sabores e aromas residuais desagradáveis de alimentos irradiados é resultante das reações químicas e de compostos radiolíticos promovidos pelos efeitos secundários do processo. Tais efeitos provocam a ruptura nos resíduos de aminoácidos sulfurados de cadeias de proteínas, induzida por radicais hidroxilas e elétrons que provocam alterações na estrutura da proteína. O avanço da radiólise causa lesões nas membranas celulares, afetando a sua permeabilidade, devido ao efeito secundário sobre o seu componente lipídico. Essas mudanças repercutem nas atividades das enzimas ligadas às membranas, causando perda de líquido intracelular e ruptura da membrana e consequente morte celular após algum tempo do tratamento. Os danos causados às membranas das organelas celulares facilitam as reações enzimáticas, já que as enzimas e os substratos podem interagir livremente. Pode ocorrer, além disso, clivagem de carboidratos de alto peso molecular presentes em vegetais, em unidades de baixo peso molecular.<sup>5,8</sup>

Quando a irradiação é utilizada em combinação com outros métodos de conservação, tais como tratamentos térmicos leves ou adição de especiarias (como pimenta, alho, páprica, etc.) e extratos de plantas, a eficiência global é reforçada através de uma ação sinérgica, e as doses de irradiação podem ser reduzidas sem afetar a qualidade do produto.<sup>19</sup>

A tolerância à radiação varia entre as espécies e variedades de vegetais, e é influenciada pela maturação no momento do tratamento. Com frutas e hortaliças frescas, é importante estabelecer os parâmetros exatos, como estágio de maturação, pré-tratamento, pós-tratamento e condições de transporte que produzam os melhores resultados. A maioria das frutas e hortaliças *in natura* toleram tratamento de irradiação na dose mínima de 0,25 kGy (quilogray) sem sofrer alteração em sua qualidade. A dose 2,25 kGy já pode prejudicar a sua qualidade.<sup>19</sup>

## 6. Salubridade e segurança de alimentos irradiados

---

O comitê misto de especialistas FAO/IAEA/WHO em estudo sobre a integridade dos alimentos irradiados, determinou que os alimentos submetidos à dose média de 10 kGy de irradiação não apresentam risco toxicológico e não introduz a qualquer problema nutricional e microbiológico aos humanos.<sup>20</sup> Entretanto, em 2003, após inúmeros estudos com alimentos e doses maiores que 10 kGy, a Comissão do Codex Alimentarius, permitiu a utilização de qualquer dose para atingir o objetivo tecnológico proposto.<sup>21</sup>

Isso é justificado pelo fato de que o alimento tratado com raio gama não se torna radioativo, já que os nêutrons não são emitidos pelo  $^{60}\text{Co}$  e, portanto, nenhuma alteração nuclear é produzida nos núcleos das moléculas do alimento. Não há evidência científica de que os alimentos irradiados irão

conter níveis de radioatividade superiores aos dos não irradiados.<sup>8</sup>

## 7. Legislações relacionadas aos alimentos irradiados: Brasil, União Europeia e EUA

---

A importância da irradiação na indústria de alimentos em países desenvolvidos e em desenvolvimento vem sendo reconhecida. Mais de 50 países aprovaram, para mais de 60 alimentos, o uso da irradiação para o consumo local ou exportação. Os EUA, África do Sul, Holanda, Tailândia e França são os líderes no uso da tecnologia de irradiação de alimentos, mas cerca de 40 países a utilizam.<sup>8</sup>

No Brasil, foi implementado em 2001 o “Regulamento técnico para irradiação de alimentos” com o objetivo de se estabelecer os requisitos gerais para o uso da irradiação com vistas à qualidade sanitária do produto final.<sup>22</sup> Nele consta que a irradiação não deve ser utilizada em substituição às boas práticas de fabricação ou agrícolas e impõe que a dose mínima absorvida deve ser suficiente para alcançar a finalidade pretendida, e a dose máxima absorvida deve ser menor àquela que comprometeria as propriedades funcionais ou os atributos sensoriais do alimento.

Na rotulagem de alimentos irradiados, além dos dizeres exigidos para os alimentos em geral e específico do alimento, deve constar no painel principal a frase “Alimento tratado por processo de irradiação”, com as letras de tamanho não inferior a um terço ao da letra de maior tamanho no enunciado da rotulagem. Quando um produto irradiado é utilizado como ingrediente em outro alimento, deve-se declarar essa circunstância na lista de ingredientes, entre parênteses, após o nome do mesmo. Além disso, o regulamento prevê que, exceto para alimentos de baixo conteúdo hídrico irradiados com o objetivo de combater a reinfestação de insetos, os alimentos irradiados

não devem ser submetidos à re-irradiação.<sup>22</sup>

Em 2011 a Instrução Normativa nº9 autorizou a radiação ionizante como tratamento fitossanitário para fins quarentenários, podendo ser utilizada como um tratamento único ou combinado com outros tratamentos como parte integrante de um sistema de medidas fitossanitárias para o gerenciamento de risco de pragas.<sup>23</sup> Para fins quarentenários, a radiação ionizante pode ser fornecida por isótopos radioativos (raios gama de <sup>60</sup>Co), elétrons acelerados com energia máxima de 10 MeV e por meio de raios X com energia de até 5 MeV. Sendo a dose de energia absorvida o Gy.

No Reino Unido, em 1986, a irradiação foi aprovada como método seguro e satisfatório de processamento de alimentos pelo *Advisory Committee on Irradiated and Novel Foods*.<sup>24</sup> Esta opinião foi confirmada em 1987 depois de receber pedidos da indústria, grupos de consumidores, e das partes interessadas. Em 1991 as regulamentações específicas de alimentos irradiados (*The Food Control of Irradiated Regulations*) definiu sete categorias de doses de radiação, a saber: frutas – 2,0 kGy, hortaliças – 1,0 kGy, bulbos e tubérculos – 0,2 kGy, especiarias e condimentos – 10 kGy, peixes e mariscos – 3,0 kGy e aves – 7,0 kGy. Tais regulamentos ainda preveem a rotulagem de acordo com os Regulamentos para Rotulagem de Alimentos de 1996 com a finalidade de assegurar que os consumidores sejam plenamente informados se o alimento ou quaisquer ingredientes nele contido tenham sido irradiados.<sup>25</sup>

A União Europeia, em 1999, implementou duas diretrizes sobre a irradiação de alimentos: a *Directive 1999/2/CE (1999)* e a *Directive 1999/3/CE (1999)*, as quais incluem aspectos gerais e técnicos que regem o processo de irradiação, as condições de autorização da irradiação de alimentos, e as isenções e requisitos de rotulagem de produtos alimentares irradiados. Em tal Diretriz foram listados produtos que tinham autorização para o tratamento com irradiação, sendo eles de uma só categoria, sendo esta a de alimentos secos, ervas

aromáticas, especiarias e condimentos vegetais com a utilização da dose máxima absorvida de 10 kGy. Os alimentos irradiados e comercializados dentro da UE devem ter sido tratados em instalações autorizadas. No entanto, a partir de 2006, seis Estados membros da UE (Bélgica, França, Itália, Países Baixos, Polónia e Reino Unido) possuem autorizações nacionais para alguns alimentos, em conformidade com o artigo N° 4 (4) da *Directive 1999/2/CE (1999)*:<sup>26,27</sup>

- Bélgica: batatas, cebola, alho, cebolinha, legumes, morangos, carne de aves mecanicamente separadas, pernas de rã congeladas, camarões descascados, clara de ovo, ervas e especiarias;
- França: ervas e especiarias, cebolas, alho, frutas e vegetais secos, flocos e germes de cereais para produtos lácteos, farinha de arroz, aves, carne de aves mecanicamente separadas, as pernas de rã congeladas, camarões descascados e clara de ovo;
- Itália: batatas, cebolas, alho, ervas e especiarias;
- Holanda: frutas e hortaliças secas, flocos de cereais, carne de frango, as pernas de rã congeladas, camarões descascados, ovo branco, ervas e especiarias;
- Reino Unido: bulbos e tubérculos, legumes, frutas, cereais, peixe, crustáceos e moluscos, ervas e especiarias;
- Polónia: alho, cogumelos secos, cebola, especiarias e legumes secos;

Nos EUA, a “Food and Drug Administration (FDA)” tem a responsabilidade de realizar a regulamentação da irradiação de alimentos para garantir seu uso seguro em todos os alimentos. O “United States Department of Agriculture (USDA)” e o “Food Safety and Inspection Services (FSFI)” são responsáveis pela legalização do tratamento em carnes e produtos avícolas, frutas frescas e alguns produtos de ovos. A máxima dose utilizada para cada produto irradiado deve seguir as

regras do FDA. Nos casos de aplicações de quarentena, a dose mínima também é regulada. Os materiais de embalagem contendo o alimento processado por irradiação também deve passar por aprovação do órgão.

No que diz respeito à rotulagem dos alimentos irradiados, as regras foram publicadas na Norma Geral do Codex Para Alimentos Irradiados e na Norma Geral para a Rotulagem de Alimentos Pré-embalados, que contêm as disposições para a rotulagem dos alimentos irradiados e para os alimentos irradiados pré-embalados, incluindo as informações em documentos de embarque internacionalmente aceitos, no âmbito do acordo da Organização Mundial do Comércio.<sup>21,28</sup> A rotulagem dos alimentos deve atender a todos os requisitos adicionais estabelecidos pelas autoridades competentes.

Na União Europeia, os alimentos irradiados e todos os ingredientes listados que foram irradiados devem ser identificados com as palavras “irradiado” ou “tratado com radiação ionizante”. Nos EUA, o FDA exige que nos rótulos de alimentos irradiados contenha o símbolo da irradiação, a radura (Figura 1), e a declaração “tratado com irradiação” ou “tratado por irradiação”.<sup>29</sup> Aos fabricantes é permitido adicionar uma frase que descreve o efeito do tratamento, como “tratado com radiação para controlar a sua deterioração”.



Figura 1. Símbolo da radura

## 8. Pesquisas desenvolvidas com irradiação em frutas e hortaliças

O uso da radiação gama a 1,0 e 2,0 kGy, associado ao armazenamento refrigerado, aumentou a vida útil de framboesas em 8 dias.<sup>30</sup> Entretanto, a dose de 1,0 kGy é mais adequada por reduzir a incidência de podridão e a perda de massa e apresentar menor perda de ácido ascórbico.

Pesquisa com mangas *in natura* tratadas em banho de água quente (46 °C/110 min.), irradiadas com 0,4 e 1,0 kGy, e exportadas ao Canadá, mostraram que a radiação gama pode ser utilizada para exportação de frutas com o propósito de desinfestação, pois os frutos irradiados apresentaram os menores estágios de maturação 8 dias após a chegada no país de destino.<sup>31</sup> As mangas irradiadas com 1 kGy apresentaram-se mais firmes até o 10º dia de armazenamento. Quanto aos custos, foi constatado que esse processo é competitivo no tratamento de mangas para requerimentos quarentenários.

Frutos de buriti-do-brejo submetidos a 1,0 KGy de radiação gama apresentaram melhor conservação.<sup>32</sup> Os autores observaram que embora tenha ocorrido redução na concentração de carotenoides totais do fruto, o seu teor final ainda pode ser considerado alto (22720,00 µg carotenoides 100 g<sup>-1</sup>)

A radiação gama diminuiu significativamente os níveis de contaminação de bactérias aeróbicas e de coliformes em sucos frescos e prontos para consumo de couve e de cenoura estocados a 10°C durante 3 dias, sendo que as doses de 3 a 5 kGy prolongaram sua vida de útil em 3 dias e não provocaram alterações sensoriais e nutricionais.<sup>33</sup>

Foram estudados os efeitos da radiação ionizante (60 Co), nas doses 100 e 150 Gy, sobre as reações fisiológicas e enzimáticas de abacaxi armazenados a 12 °C durante 30 dias.<sup>34</sup> Os frutos irradiados com 150 Gy apresentaram menor teor de sacarose e aumento da quantidade de compostos

fenólicos. Entretanto, os autores concluíram que os frutos tratados com 100 Gy de radiação gama até 20 dias de armazenamento obtiveram melhor qualidade. Em estudo posterior, utilizando-se os mesmos tratamentos os autores observaram que os frutos irradiados apresentavam maior firmeza, mas com diminuição gradual durante o período de armazenamento (até 30 dias a 12 °C). Além disso, não houve diferença significativa entre as doses para acidez total e pH, podendo-se concluir que os frutos irradiados apresentaram melhores resultados quanto à conservação pós-colheita, sendo a dose ideal 100 Gy.<sup>35</sup>

Polpas de acerola após tratamento com radiação gama a 2, 3 e 4 kGy, apresentaram ausência de *Salmonella* e não manifestaram contagem para coliforme fecal no tempo zero e após 12 dias de estocagem.<sup>36</sup> Para a contagem de fungos filamentosos e leveduras após 12 dias de estocagem à temperatura ambiente, comparando-se com a amostra sem tratamento, evidenciaram uma redução de 3 ciclos logarítmicos para a dose de 2 kGy e de 4 a 5 ciclos para as doses de 3 e 4 kGy, tendo a amostra controle se deteriorado (> 106 UFC mL<sup>-1</sup>).

Frutos de mamão do tipo Golden tratados com radiação gama com 0,6 e 1,0 kGy, exceto o controle (0,0 kGy), apresentaram redução de perda de água na dose de 1,0 kGy (39,88 %), sendo que as doses testadas também retardaram o início da perda de textura. Os frutos submetidos a 1,0 kGy exibiram a menor atividade da enzima poligalacturonase entre os tratamentos. Os autores concluíram que a radiação foi eficiente para retardar o processo de amadurecimento dos frutos.<sup>37</sup>

Cenouras 'Nantes' submetidas à radiação gama em diversas doses baixas e avaliadas quanto às suas características físicas e químicas pós-colheita, apresentaram manutenção da qualidade pós-colheita quando tratadas com 1,0 kGy, pois as análises de acidez titulável (% ácido cítrico) e ratio não apresentaram alterações significativas entre doses e período de armazenamento.

## 9. Considerações finais

Diante do exposto, pode se afirmar que assim como as demais técnicas de conservação pós-colheita, o uso da radiação gama traz benefícios e qualidade às frutas e hortaliças desde que aplicado de forma correta e no momento certo. Também é preciso atender a legislação vigente e as necessidades específicas de cada espécie e cultivar. Se esses cuidados forem tomados, o uso da irradiação resulta em produtos saudáveis e seguros, sem degradação da qualidade e sem perdas pós-colheita. Ressalta-se ainda que essa técnica não substitui as boas práticas de produção e fabricação, ao contrário, ela deve ser usada em parceria com as boas práticas a fim de agregar valor ao produto.

Houve grande evolução desde o início do uso da radiação em alimentos. Atualmente, existem diversos grupos de pesquisa e instituições que continuam trabalhando na busca da melhoria dos resultados desse método, principalmente no que se diz respeito aos danos qualitativos que a irradiação pode trazer ao alimento. Tais pesquisas são de fundamental importância para o sucesso da irradiação, entretanto, faltam esforços no sentido de viabilizar o custo e na divulgação dos seus bons resultados, desmistificando interpretações errôneas a seu respeito.

### Referências Bibliográficas

- <sup>1</sup> Del Mastro, N. L. Development of food irradiation in Brazil. Progress in Nuclear Energy, New York, v. 35, n. 3-4, p. 229-248, 1999.
- <sup>2</sup> Behrens, J. H.; Barcellos, M. N.; Frewer, L. J.; Nunes, T. P; Landgraf, M. Brazilian consumer views on food irradiation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* **2009**, *10*, 383. [CrossRef]
- <sup>3</sup> Crawford, L. M.; Ruff, E. H. A review of the safety of cold pasteurization through

- irradiation. *Food Control* **1996**, *7*, 87. [CrossRef]
- <sup>4</sup> Scott Smith, J.; Pillai, S. Irradiation and food safety. *Food Technology* **2004**, *58*, 48. [Link]
- <sup>5</sup> Pereda, J. A. O. Em *Tecnologia de Alimentos: Componentes dos Alimentos e Processos*. Porto Alegre: Artmed, 2005, cap. 9.
- <sup>6</sup> Arvanitoyannis, I. S.; Stratakos, A. C.; Tsarouhas, P. Irradiation applications in vegetables and fruits: A review. *Critical reviews in Food Science and Nutrition* **2009**, *49*, 5, 427. [CrossRef] [PubMed]
- <sup>7</sup> Farkas, J. Irradiation for better foods. *Trends in Food Science & Technology* **2006**, *17*, 148. [CrossRef]
- <sup>8</sup> Stefanova, R.; Vasilev, N. V.; Spassov, S. L. Irradiation of food, current legislation framework, and detection of irradiated foods. *Food Analytical Methods* **2010**, *3*, 225. [CrossRef]
- <sup>9</sup> 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* **1998**, *154*, 1. [CrossRef] [PubMed]
- <sup>10</sup> Satin, M.; *La irradiación de los alimentos*. Editorial Acribia: Zaragoza, 1997.
- <sup>11</sup> Hernandez, 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**, *37*, 154.
- <sup>12</sup> Diehl, J. F.; *Safety of irradiated foods*, 2a. ed., Marcel Dekker: New York, 1995.
- <sup>13</sup> Urbain, W. M. Em *Food irradiation*, Academic Press: Orlando, 1986, cap. 2.
- <sup>14</sup> Lado, B. H.; Yousef, A. E. Alternative food-preservation technologies: efficacy and mechanisms. *Microbes and Infection* **2002**, *4*, 433. [CrossRef] [PubMed]
- <sup>15</sup> Tallentire, A. The spectrum of microbial radiation sensitivity. *Radiation Physics And Chemistry*, **1980**, *15*, 83. [CrossRef]
- <sup>16</sup> Farkas, J. Irradiation for better foods. *Trends in Food Science & Technology* **2006**, *17*, 148. [CrossRef]
- <sup>17</sup> ICRU - International Commission on Radiation Units and Measurements. *Fundamental Quantities and Units for Ionizing Radiation*, ICRU Report 85a-Revised. 2012.
- <sup>18</sup> Kilcast, D. Effect of irradiation on vitamins. *Food Chemistry* **1994**, *49*, 157. [CrossRef]
- <sup>19</sup> Lacroix, M.; Ouattara, B. Combined industrial processes with irradiation to assure innocuity and preservation of food products – A review. *Food Research International* **2000**, *33*, 719. [CrossRef]
- <sup>20</sup> World Health Organization (WHO). *Wholesomeness of irradiated food: report of a joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee*. Em: World Health Organization Technical Report Series 659, WHO, Geneva, Switzerland, 1981, 36p.
- <sup>21</sup> CGSIF - Codex General Standard for Irradiated Foods. STAN 106-1983, Rev. 1-2003.
- <sup>22</sup> BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). *Resolução RDC n°21*, de 26 de janeiro de 2001. DOU de 29 de janeiro de 2001.
- <sup>23</sup> BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento. *Instrução Normativa n°9*, de 24 de fevereiro de 2011. DOU de 25 de fevereiro de 2011, Seção 1.
- <sup>24</sup> ACINF-Advisory Committee on Irradiated and Novel Foods. 1986. *Report on the safety and wholesomeness of irradiated food*. HMSO, London.
- <sup>25</sup> World Health Organization (WHO). *The technical basis for legislation on irradiated food*. WHO Technical Report Series No. 316, 1996.
- <sup>26</sup> Official Journal of the European Communities C112, 5 December 2006. List of Member States' authorisations of food and food ingredients which treated with ionising radiation.
- <sup>27</sup> Directive 1999/2/EC. Official Journal of the European Communities, L66/16, 13 March 1999.
- <sup>28</sup> Codex Alimentarius. General standard for the labelling of prepackaged foods. CODEX STAN 002, Rev.1-1991
- <sup>29</sup> FDA Irradiation in the production, processing and handling of food: labeling. *Food and Drug Administration Fed Regist* 1991, *55*, 5, 646.

- <sup>30</sup> Tezotto-Uliana, J. V.; Berno, N. D.; Saji, F. R. Q.; Kluge, R. A. Gamma radiation: An efficient technology to conserve the quality of fresh raspberries. *Scientia Horticulturae* **2013**, *164*, 348. [[CrossRef](#)]
- <sup>31</sup> Sabato, S. F.; Silva, J. M.; Cruz, J. N.; Broisler, P. O.; Rela, P. R.; Salmieri, S.; Lacroix, M. Advances in commercial application of gamma radiation in tropical fruits at Brazil. *Radiation Physics and Chemistry* **2009**, *78*, 655. [[CrossRef](#)]
- <sup>32</sup> Lima, A. L. S.; Lima, K. S. C.; Coelho, M. J.; Silva, J. M.; Godoy, R. L. O.; Pacheco, S. Avaliação dos efeitos da radiação gama nos teores de carotenoides, ácido ascórbico e açúcares do fruto Buriti do Brejo. *Acta Amazônica* **2009**, *39*, 649. [[CrossRef](#)]
- <sup>33</sup> Song, H.-P.; Byun, M.-W.; Jo, C.; Lee, C.-H.; Kim, K.-S.; Kim, D.-H. Effects of gamma irradiation on the microbiological, nutritional, and sensory properties of fresh vegetable juice. *Food Control* **2007**, *18*, 5. [[CrossRef](#)]
- <sup>34</sup> Silva, J. M.; Spoto, M. H. F.; Silva, J. P. Análises fisiológicas e enzimáticas em abacaxi submetido à tecnologia de radiação ionizante. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* **2007**, *27*, 602. [[CrossRef](#)]
- <sup>35</sup> Silva, J. M.; Silva, J. P.; Spoto, M. H. F. Características físico-químicas de abacaxi submetido à tecnologia de radiação ionizante como método de conservação pós-colheita. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* **2008**, *28*, 139. [[CrossRef](#)]
- <sup>36</sup> Gonçalves, M. P. J. C.; Botrel, D. A.; Soares, N. F. F.; Stringheta, P. C. Irradiação gama como alternativa de conservação de polpa de acerola. *Alimento e Nutrição* **2006**, *17*, 159. [[Link](#)]
- <sup>37</sup> Soprani, J.; Lopes, B. F.; Ferraz, K. K. F.; Santos, R. G.; Silva, D. M.; Figueiredo, S. G. Efeito da radiação gama no amadurecimento dos frutos de mamão. *Revista Papaya Brasil*, **2005**, 589. [[Link](#)]
- <sup>38</sup> Lima, K. S. C.; Grossi, J. L. S.; Lima, A. L. S.; Alves, P. F. M. P.; Coneglian, R. C. C.; Godoy, R. L. O.; Sabaa-Srur, A. U. O. Efeito da irradiação ionizante  $\gamma$  na qualidade pós-colheita de cenouras (*Daucus carota* L.) cv. NANTES. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* **2001**, *21*, 202. [[CrossRef](#)]