

A radiação ionizante na promoção da alimentação adequada e saudável

Ionizing radiation for the promotion of adequate and healthy food

RESUMO

Nélida Lucia del Mastro*

O tratamento de alimentos por um tipo de radiação ionizante para promover a segurança microbiológica e a conservação é uma das tecnologias do século XX mais extensivamente estudadas¹. O tratamento pela radiação, como todo e qualquer processamento de alimentos, apresenta uma faixa limitada de aplicação. Inúmeros estudos atestam que esse tratamento de produtos alimentícios, nas condições determinadas para o objetivo proposto, pode ser uma ferramenta poderosa contra perdas de alimentos, bem como se constitui no melhor método disponível para controlar doenças transmitidas por alimentos. Também, as pesquisas revelam que certos produtos podem ser beneficiados por algumas ações específicas da interação deste método físico com os componentes dos alimentos. O desconhecimento do grande público em relação ao processo em si e as alterações que podem ocorrer nos produtos assim processados são hoje o fator limitante para sua aplicação em grande escala. As autoridades da área da saúde são os componentes da sociedade com maior credibilidade. Assim, devem ser desenvolvidas maiores oportunidades de intercâmbio de informações entre aquelas e o meio acadêmico que pode esclarecer as dúvidas e propiciar o esclarecimento das vantagens e limitações do processo quando aplicado em produtos alimentícios.

PALAVRAS-CHAVE: Radiação ionizante; Alimentos; Segurança alimentar

ABSTRACT

Treatment of food by specific ionizing radiation to improve microbiological safety and storability is one of the most extensively studied technologies of the 20th century. As any other food process, food irradiation presents a limited range of applicability. Innumerable studies have certified that this process, when applied according to the conditions where it should be employed, can be a powerful tool against food losses as well as the best method to control foodborne diseases. Researchers have revealed that some food products can be specially improved through specific actions of radiation acting on certain food components. Lack of information about the process itself and alterations in the irradiated products are the main difficulties that prevent larger-scale application today. Because health authorities are the most credible spokespersons in society on the topic, opportunities for information exchange between health officials and academicians must be developed to highlight the benefits and disadvantages of this method when applied to food.

Centro de Tecnologia das Radiações,
Instituto de Pesquisas Energéticas
e Nucleares - IPEN-CNEN/SP, São
Paulo, SP, Brasil

KEYWORDS: Ionizing Radiation; Food; Food Safety

* E-mail: nlmastro@ipen.br

Recebido: 07 jul 2014
Aprovado: 02 mar 2015



INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da humanidade, o homem vem desenvolvendo métodos de preservação de alimentos. O foco da preservação é manter a frescura e a qualidade nutricional tanto quanto possível prevenindo a deterioração causada por micro-organismos. As bactérias são os micro-organismos mais comumente encontrados na natureza e podem ser classificados como: a) úteis ao ser humano, b) responsáveis pela deterioração e c) patogênicos ou causadores de doenças.

Atualmente há disponíveis uma série de processos aplicáveis em alimentos, alguns muito antigos e tradicionais, e outros que foram se incorporando no decorrer dos avanços tecnológicos, cada um com faixas de aplicação específicas, vantagens e restrições. Dentre os métodos físicos estão o emprego de calor, a desidratação, a conservação a baixas temperaturas, o congelamento, o uso de atmosferas modificadas, o ultrassom e a irradiação. Dentre os métodos mais recentes podemos mencionar o uso de alta pressão hidrostática, campos elétricos pulsados e campos magnéticos oscilantes^{1,2}.

A maior parte das pesquisas sobre alimentos submetidos ao processamento de irradiação tem sido realizadas em laboratórios e ainda é pouco utilizada comercialmente³.

A irradiação comercial de alimentos é um processo relativamente recente (aplicado há apenas algumas décadas) para controlar bactérias, vírus, micro-organismos, pragas e fungos e, salvo por aqueles diretamente envolvidos no tratamento de certos produtos como especiarias, por exemplo, é desconhecido do grande público. Na realidade, o possível uso da radiação ionizante na preservação de alimentos foi proposta pouco depois da descoberta dos raios X em 1895. Datam do começo do século XX o depósito das primeiras patentes mundiais sobre esse processo^{4,5}, mas foi só na segunda metade do século que começaram a ser desenvolvidas máquinas adequadas para aplicações industriais.

Mesmo que o Brasil tenha legislação sobre alimentos irradiados desde 1973⁶ (e os EUA desde 1963), foi na década seguinte que começou a institucionalização do processo tanto no País como no exterior. Na década de 1980, o *Food and Drug Administration* dos EUA⁷ (essa legislação foi sendo atualizada e incorporando emendas até recentemente^{8,9}) aprovou a irradiação de especiarias, substâncias vegetais aromáticas desidratadas, com dose máxima de 30 kGy e produtos alimentícios frescos com dose máxima de 1 kGy. Estes dois tipos de aplicação são muito diferentes entre si e requerem geralmente equipamentos diversos, pois o primeiro aplica-se a produto não perecível e o segundo perecível, com requerimentos específicos de manuseio e logística.

No Brasil datam também da década de 1980 as autorizações para irradiação de alguns produtos alimentícios^{10,11}, bem como da instalação da primeira unidade comercial privada de prestação de serviços de irradiação em geral. Por ocasião dessas autorizações, a indústria de irradiações já estava sendo utilizada rotineiramente em produtos não perecíveis, como descartáveis para uso médico. Por esse motivo, foi relativamente fácil a indústria de

especiarias utilizar a infraestrutura de irradiação já existente e cuja prática é comum até os dias de hoje. Unidades de irradiação desenhadas para tratar especificamente de produtos perecíveis vêm sendo disponibilizadas gradualmente nos últimos anos.

A Organização Mundial da Saúde (OMS ou WHO), conjuntamente com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO) e a Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA), criou em 1984 um grupo de trabalho para estudar as diversas aplicações da irradiação de alimentos. Esse grupo de especialistas, denominado Grupo Consultivo Internacional sobre Irradiação de Alimentos (ICGFI), acompanhou a evolução da aplicação dessa tecnologia a nível mundial. O grupo, que encerrou suas atividades em 2001, analisou e forneceu informação de fatos científicos sobre os benefícios e limitações da aplicação da irradiação em alimentos para consumidores, a indústria, governos e agências regulatórias.

O Brasil integrou o ICGFI junto com mais 44 países, a maioria dos quais possuem legislação autorizando o uso da radiação em alimentos. São eles: África do Sul, Argentina, Bangladesh, Bélgica, Brasil, Canadá, Chile, China, Costa Rica, Croácia, Cuba, República Checa, Dinamarca, Finlândia, França, Hungria, Índia, Indonésia, Irã, Israel, Itália, Japão, Coreia, México, Holanda, Noruega, Paquistão, Filipinas, Polônia, Federação Russa, Espanha, Síria, Tailândia, Ucrânia, Reino Unido, Uruguai, EUA, Vietnã e Iugoslávia.

Tecnicamente, a conservação de alimentos pela radiação está bastante e suficientemente comprovada. Em 1983, a Comissão do Codex Alimentarius, que representa o ponto de vista de 136 países, adotou o *Codex General Standard for Irradiated Food*¹². Em 1984, adotou o *Recommended International Code of Practice*¹³, a partir de recomendações do Comitê Conjunto de Especialistas sobre Saúde de Alimentos Irrradiados da FAO, IAEA e OMS.

COMO FUNCIONA O PROCESSO DE IRRADIAÇÃO

O processo de irradiação emprega fontes radiativas, por exemplo de ⁶⁰Co, ou máquinas elétricas como aceleradores de partículas que produzem feixes de elétrons. O alimento não entra em contato em momento algum com o material radiativo, ou seja, não existe risco de contaminação radiativa. Apenas é criado um campo de energia ionizante através do qual o produto passa. Como este processo de tratamento físico não deixa resíduos, os alimentos estão imediatamente prontos para o consumo e não há contaminação do médio ambiente. Durante o processamento não há aumento significativo da temperatura, por esse motivo é possível sua aplicação em produtos sensíveis à temperatura como é o caso de frutas frescas.

O fator mais importante no processo de irradiação é a dose ou energia absorvida pelo produto, que é dependente apenas do tempo de exposição, o que outorga alta confiabilidade ao processo. A unidade de medida da dose de radiação no Sistema de Unidades Internacionais é o Gray (Gy), que corresponde a uma energia absorvida de um joule por quilograma de produto: 1 Gy = 1 J kg⁻¹.



O produto irradiado nas condições determinadas para o objetivo proposto é seguro e nutritivo e não produz toxicidade se boas práticas de manuseio forem seguidas. Como a radiação ionizante é penetrante, o alimento pode ser irradiado a granel ou na sua embalagem final, o que evita uma pós-contaminação.

Na Tabela 1 se encontram as doses recomendadas para os vários objetivos aos quais a irradiação pode ser aplicada.

O tratamento pela radiação, como todo e qualquer processamento de alimentos, apresenta uma faixa limitada de aplicação. A combinação de diferentes processos frequentemente minimiza as limitações de cada método específico na preservação de alimentos. Alimentos cárneos, por exemplo, podem ser irradiados crus, tanto refrigerados quanto congelados. A limitação, entretanto, reside em não ultrapassar a dose a partir da qual ocorram mudanças nos atributos sensoriais. Na Tabela 2 se encontram os valores de dose que não devem ser ultrapassados no caso de produtos proteicos de origem animal irradiados crus.

Tabela 1. Doses de radiação recomendadas para vários objetivos¹⁴.

Processo	Faixa de dose aproximada (kGy)
Inibição do brotamento (bulbos/tubérculos)	0,05-0,15
Retardo de amadurecimento de frutas	0,20-0,50
Eliminação de insetos	0,20-1,00
Eliminação de parasitas	0,03-6,00
Aumento da vida-de-prateleira pela redução da carga microbiana	0,50-5,00
Eliminação de patógenos não formadores de esporos	3,00-10,00
Esterilização	10,0-50,0

Tabela 2. Dose a partir da qual são perceptíveis mudanças sensoriais em produtos cárneos¹⁵.

Alimento	Dose (kGy)
Peru	1,5
Porco	1,75
Carne bovina	2,5
Frango	2,5
Camarão	2,5
Rã	4,0
Cordeiro	6,25

Alimentos ricos em lipídeos, não são apropriados para este tratamento. Há situações, porém, em que isso é possível utilizando a combinação de métodos de preservação, como, por exemplo, o uso de atmosferas modificadas juntamente com a irradiação¹⁶. Inúmeros estudos^{17,18} atestam que a irradiação é um complemento a outras técnicas estabelecidas que pode adicionar segurança alimentar, aumentar a vida de prateleira, reduzir as perdas pela deterioração e aumentar a diversidade de alimentos para a população. É também o melhor método disponível para controlar doenças transmitidas por alimentos.

A IRRADIAÇÃO COMO FERRAMENTA DE SAÚDE PÚBLICA

O impacto de surtos de doenças transmitidas por alimentos na sociedade diz respeito aos aspectos médico-sanitários e também econômicos. Essas doenças podem estar associadas ao consumo de praticamente qualquer tipo de produto alimentício, como carnes, ovos, laticínios, frutas, vegetais e frutos do mar. As taxas de doenças transmitidas por alimentos estão crescendo inclusive nos países mais desenvolvidos. Em particular, as crianças representam uma população particularmente susceptível, pois, por exemplo, para infecção por *Escherichia coli* O157:H7 e espécies patogênicas de *Campylobacter*, *Listeria*, *Salmonella*, *Shigella* e *Staphylococcus* podem ser fatais. Por outro lado, infecções por *Listeria* ou espécies de *Toxoplasma*, adquiridas no período pré-natal, podem causar abortos, morte neonatal ou morbidade de por vida^{19,20}.

A irradiação de alimentos pode reduzir o risco de doenças transmitidas por alimentos como já foi estabelecido por inúmeros estudos²¹⁻³³, sendo que o alimento assim tratado mantém o valor nutritivo dos macrocomponentes e sofre perdas mínimas em microcomponentes como é o caso de vitaminas³⁴. A OMS se manifestou a respeito³⁵, bem como, de maneira conjunta, a OMS, a FAO e a IAEA³⁶. Para essas instituições internacionais, alimentos irradiados de acordo com boas práticas de produção (GMP) são seguros para o consumo e adequados do ponto de vista nutricional. Alimentos irradiados são fornecidos há anos aos astronautas e são a melhor opção para pacientes imunossuprimidos^{37,38,39}, bem como, para atender o fornecimento emergencial de alimentos em casos de desastres naturais⁴⁰.

No Brasil, a ANVISA aprovou em 2001 o regulamento sobre alimentos irradiados⁴¹. As radiações ionizantes permitidas para aplicação em alimentos são aquelas recomendadas pelo *Codex Alimentarius*¹²: i) Raios gama provenientes dos radionuclídeos ⁶⁰Co ou ¹³⁷Cs; ii) Raios X gerados por máquinas de até 5 MeV; iii) Feixe de elétrons gerados por máquinas de até 10 MeV. Na atual legislação brasileira, não há restrições em relação às doses a serem aplicadas, não mais vigorando a lista restrita de alimentos autorizados para serem irradiados que constavam das Portarias nº 9 de 1985 e nº 30 de 1989 do Ministério da Saúde. No texto da resolução hoje em vigor, fica estabelecido que: a) “a dose mínima absorvida deve ser suficiente para alcançar a finalidade pretendida”; b) “a dose máxima absorvida deve ser inferior àquela que comprometeria as propriedades funcionais e ou os atributos sensoriais do alimento”.

A utilização de radiação ionizante na conservação/higienização de alimentos no Brasil é ainda extremamente limitada. A ANVISA⁴¹ define a irradiação de alimentos como “o processo físico de tratamento que consiste em submeter o alimento, já embalado ou a granel, a doses controladas de radiação ionizante, com finalidades sanitária, fitossanitária e ou tecnológica”. Se os componentes irradiados estiverem presentes em quantidade inferior a 5% do conteúdo total em massa, não é necessário menção no rótulo do produto.



Em relação à produção científica recente no tema, existem numerosos trabalhos publicados no Brasil e no exterior por pesquisadores brasileiros que atestam a eficácia e efetividade dos diversos usos da radiação ionizante em alimentos⁴²⁻⁷¹.

A IRRADIAÇÃO NA REDUÇÃO DE PERDAS PÓS-COLHEITA E COMO MEDIDA FITOSSANITÁRIA

As perdas pós-colheita na produção de alimentos dependem de muitos fatores: temperatura, umidade relativa, pressão atmosférica, CO₂ e O₂ e da presença de insetos e fungos. Muitos estudos tem sido publicados que atestam a efetividade da irradiação na inibição da deterioração e na manutenção da qualidade de produtos vegetais^{72,73}.

Além do uso como medida sanitária e na redução da deterioração, a radiação ionizante pode ser utilizada como medida fitossanitária, isto é, na eliminação de insetos e pragas que prejudicam a agricultura⁷⁴ em substituição a fumigações com inseticidas químicos (brometo de metila, HCN, acrilonitrila ou dibrometo de etileno) que são tóxicos para o ser humano e o meio ambiente. Desde 2003 há legislação internacional que regulamenta uso da irradiação como medida fitossanitária⁷⁵.

No País, em 2011, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) resolveu adotar as diretrizes da Norma Internacional para Medidas Fitosanitárias - NIMF nº 18 como orientação técnica para o uso da irradiação como medida fitossanitária⁷⁶ com o objetivo de prevenir a introdução ou disseminação de pragas quarentenárias regulamentadas no território brasileiro. A irradiação ionizante poderá ser utilizada a fim de obter certas respostas na praga objeto, tais como: I - mortalidade; II - impedir o desenvolvimento bem-sucedido; III - incapacidade para reprodução; IV - inativação. A resposta exigida deverá estar baseada numa estimativa do risco fitossanitário e estabelecida pela Organização Nacional de Proteção Fitossanitária (ONPF) do país importador.

OUTROS BENEFÍCIOS DECORRENTES DA APLICAÇÃO DA RADIAÇÃO IONIZANTE EM ALIMENTOS

Certos alimentos podem ser beneficiados por algumas ações específicas da interação da radiação com componentes dos alimentos.

Foi estudada a aplicação da irradiação de alimentos como método de reduzir alergias causadas pelo leite⁷⁷. Foram utilizadas as proteínas α -caseína e β -lactoglobulina bovinas e imunoglobulina IgE de paciente hipersensível e IgG de coelho. A radiação causou mudanças estruturais que afetaram a alergenicidade e antigenicidade dessas proteínas com mudanças nos epítopes dos alérgenos do leite. Num outro estudo⁷⁸, a tecnologia de irradiação também reduziu a alergenicidade a certos alimentos, utilizando como modelo β -lactoglobulina do leite, albumina de ovo de galinha e tropomyosina de camarão. Os ensaios mostraram que a quantidade de alérgenos intatos era reduzida com o aumento da dose da radiação. Também foi descrito⁷⁹ que a aplicação de altas doses de radiação gama foi capaz de suprimir efeitos alérgicos da lectina contida em alimentos.

Outros autores⁸⁰ utilizaram como sistema de estudo proteína de camarão estável ao calor. Eles encontraram que a habilidade de ligação (da imunoglobulina IgE de pacientes hipersensíveis a camarão) à extratos de camarão irradiado estava diminuída, concluindo que a irradiação seria uma tecnologia capaz de diminuir fatores alérgicos do camarão.

A presença de antinutrientes muitas vezes é um obstáculo para o consumo de alimentos de alto valor nutricional, como é o caso de lentilhas e ervilhas. O processamento por radiação mostrou-se capaz de reduzir os níveis de antinutrientes, ácido fítico, taninos, enquanto que aumenta a digestibilidade de proteínas e a relação de eficiência proteica destes legumes⁸¹. O efeito da radiação gama no conteúdo de fatores antinutricionais (inibidores de tripsina, ácido fítico e oligossacarídeos) de feijões foi também estudado⁸². Os autores acharam que a irradiação foi um procedimento bom para o aumento da qualidade desse produto pois houve redução desses antinutrientes e oligossacarídeos agentes causadores de flatulência. Outros autores⁸³, também descreveram a ação da radiação gama nas propriedades físico-químicas de feijão (*Phaseolus vulgaris*) como capaz de induzir deaminação de proteínas, aumento da solubilidade e diminuição do número de grupos sulfidrilas concomitantemente a redução de fungos naturais contaminantes. Foi publicado na literatura que outros antinutrientes, incluindo polissacarídeos não amiláceos, podem também ser inativados pela ação da radiação ionizante⁸⁴.

Estudo recente mostrou a capacidade da radiação gama de diminuir o gosto adstringente de grãos e derivados de soja, ao inativar a ação da lipoxigenase, enzima responsável por essa qualidade, mas sem produzir outras mudanças químicas no cultivar estudado⁸⁵. Pesquisas anteriores já tinham mostrado a capacidade da irradiação na diminuição de fatores antinutricionais de grãos de soja⁸⁶.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O artigo 3º da lei brasileira sobre segurança alimentar e nutricional menciona o direito de todos ao acesso regular e permanente a alimentos de qualidade, em quantidade suficiente, sem comprometer o acesso a outras necessidades essenciais, tendo como base práticas alimentares promotoras de saúde que respeitem a diversidade cultural e que sejam ambiental, cultural, econômica e socialmente sustentáveis^{87,88}.

Nenhum sistema de conservação de alimentos pode ser aplicado a todo produto para garantir sua qualidade; em cada situação há um método ou combinação de métodos melhor e mais adequado para o objetivo pretendido. O sistema de Análise de perigos e pontos críticos de controle (APPCC ou HACCP) é uma ferramenta de garantia da qualidade alimentar, que é utilizada como instrumento para garantir a inocuidade de alimentos^{89,90}. Em todo sistema de processamento de alimentos deve predominar a cultura de boas práticas, e a irradiação pode ser incorporado a esse sistema e contribuir como método extra de eliminação de riscos à saúde.

A energia nuclear, assim como, as suas inúmeras aplicações para benefício da humanidade, dentre elas o processamento de alimentos⁹¹,



enfrenta preconceitos, que é possível atribuir à falta de informação. A relação entre maior conhecimento e atitude mais positiva sobre as diferentes tecnologias sugere que, na medida em que o consumidor se torna mais informado, sua atitude tende a ser mais positiva na aceitação de novos processos aplicáveis em alimentos^{92,93,94}.

As autoridades da área da saúde são os componentes da sociedade com maior credibilidade. Assim, para promover a transformação de conhecimento científico em tecnologia, devem ser desenvolvidas maiores oportunidades de intercâmbio de informações entre aquelas e o meio acadêmico que podem esclarecer as

dúvidas e propiciar o esclarecimento das vantagens e limitações do processo de irradiação quando aplicado em produtos alimentícios. Marie Curie⁹⁵ assim considerava: “Na vida, nada deve ser temido, mas sim compreendido. Devemos buscar compreender cada vez mais, para temer cada vez menos”.

AGRADECIMENTOS

A autora é portadora de bolsa de Produtividade em Pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq.

REFERÊNCIAS

1. Farkas J, Mohacs-Farkas C. History and future of food irradiation. *Trends Food Sci Technol.* 2011;22(2-3):121-6. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2010.04.002>
2. Farkas J. Physical methods of food preservation. In: Foyle MP, Beuchat LR, editors. *Food microbiology: fundamentals and frontiers.* Washington: ASM Press; 2007. p. 685-712.
3. Kume T, Furuta M, Todoroki S, Uenoyama N, Kobayashi Y. Status of food irradiation in the world. *Radiat Phys Chem.* 2009;78(3):222-6. <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2008.09.009>
4. Appleby and Banks. Patent to bring about improvement in the condition of foodstuffs and in the general keeping quality. UK patent documents. UK 1609. 1905 Jan 26.
5. Gillett DC, inventor. Apparatus for preserving organic materials by the use of x-rays. United States patent US 1275417. 1918 Aug 13.
6. Brasil. Decreto nº 72.718, de 29 de agosto de 1973. Estabelece normas gerais sobre irradiação de alimentos. *Diário Oficial da União.* 30 ago 1973.
7. Department of Health and Human Services (US), Food and Drug Administration. Irradiation in the production, processing, and handling of food. *Fed Regist* 1986;51:13376-99.
8. Department of Health and Human Services (US), Food and Drug Administration. Irradiation in the production, processing, and handling of food: final rule. *Fed Regist.* 2005;70(157):48057-73.
9. Department of Health and Human Services (US), Food and Drug Administration. Irradiation in the production, processing, and handling of food: final rule. 2014 [acesso em: 23 jun 2014]. Disponível em: <https://www.federalregister.gov/articles/2014/04/14/2014-07926/irradiation-in-the-production-processing-and-handling-of-food>.
10. Brasil. Portaria nº 9 -DINAL/MS, de 08 de março de 1985. Aprova normas gerais para a irradiação de alimentos no Brasil, indicando para cada caso o tipo, nível e dose média de energia de radiação e o tratamento prévio conjunto ou posterior. Limitada a dose de 10kGy e proibida a reirradiação. *Diário Oficial da União.* 13 mar 1985;seção 1.
11. Brasil. Portaria DINAL nº 30, de 25 de setembro de 1989. Amplia a autorização a outros tipos de alimentos que não constavam de portaria anterior. *Diário Oficial da União.* 28 set 1989;seção 1.
12. Codex Alimentarius. General standard for irradiated foods. *Codex stan 106-1983, rev.1-2003.* Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2003.
13. Codex Alimentarius. General standard for Irradiated Foods and recommended international code of practice for the operation of radiation facilities used for the treatment of foods. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 1984.
14. Thorne S. Food irradiation. New York: Elsevier; 1991.
15. Sudarmadji S, Urbain WM. Flavor sensitivity of selected animal protein foods to gamma radiation. *J Food Sci.* 1972;37(5):671-2. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1972.tb02722.x>
16. Karagöz I, Moreira RG, Castell-Perez ME. Radiation D_{10} values for *Salmonella* Typhimurium LT2 and *Escherichia coli* cocktail in pecan nuts (*Kanza* cultivar) exposed to different atmospheres. *Food Contr.* 2014;39:146-53.
17. Kudra LL, Sebranek JG, Dickson JS, Mendonca AF, Zhang Q, Jackson-Davis A et al. Control of *Campylobacter jejuni* in chicken breast meat by irradiation combined with modified atmosphere packaging including carbon monoxide. *J Food Prot.* 2012;75(10):1728-33. <http://dx.doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-12-178>
18. World Health Organization – WHO. High dose irradiation: wholesomeness of food irradiated with doses above 10kGy. Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Study Group. Geneva: World Health Organization; 1999. (Technical Report Series, No 890).
19. Behrman RE, Kliegman RM, Jenson HB, editors. *Nelson's Textbook of pediatrics.* 16th ed. Philadelphia: WB Saunders; 2000.
20. Mead PS, Slutsker L, Dietz V, McCaig LF, Bresee JS, Shapiro C et al. Food-related illness and death in the United States. *Emerging Infect Dis.* 1999;5(5).
21. Urbain WM. Food irradiation. Orlando: Academic Press; 1986.
22. Thayer DW, Dickerson DR, Rao DR, Chawan CD. Destruction of *Salmonella typhimurium* on chicken wings by gamma irradiation. *J Food Sci* 1992;57(3):586-9. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb08048.x>
23. Käferstein FK, Moy GG. Public health aspects of food irradiation. *J Public Health Policy.* 1993;14(2):149-63. <http://dx.doi.org/10.2307/3342961>



24. Clavero MR, Monk JD, Beuchat LR, Doyle MP, Brackett RE. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, salmonellae and *Campylobacter jejuni* in raw ground beef by gamma irradiation. *Appl Environ Microbiol.* 1994;60(6):2069-75.
25. Armstrong SG, Wyllie SG, Leach DN. Effects of preservation by gamma-irradiation on the nutritional quality of Australian fish. *Food Chem.* 1994;50(4):351-7. [http://dx.doi.org/10.1016/0308-8146\(94\)90203-8](http://dx.doi.org/10.1016/0308-8146(94)90203-8)
26. Diehl JF. Safety of irradiated foods. 2nd ed. New York: Marcel Dekker; 1995. Chapter 3, Chemical effects of ionizing radiation; p. 43-88.
27. Lee M, Sebranek JG, Olson DG, Dickson JS. Irradiation and packaging of fresh meat and poultry. *J Food Prot.* 1996;59:62-72.
28. Farkas J. Irradiation as a method for decontaminating food: a review. *Int J Food Microbiol.* 1998;44(3):189-204. [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1605\(98\)00132-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1605(98)00132-9)
29. Moraes IR, Gelli DS, Jabaki M, Mastro NL. Estudo da sensibilidade *in vitro* de diferentes cepas de *Vibrio cholerae* 01 à radiação gama de 60Co. *Braz J Vet Res Anim Sci.* 1998;35(6):239-42. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-95961998000600001>
30. Shea KM. Technical report: irradiation of food. *Pediatrics.* 2000;106(6):1505-10. <http://dx.doi.org/10.1542/peds.106.6.1505>
31. Arvanitoyannis IS, Stratakos A, Mente E. Impact of irradiation on fish and seafood shelf life: a comprehensive review of applications and irradiation detection. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2009;49(1):68-112. <http://dx.doi.org/10.1080/10408390701764278>
32. Fregonesi RP, Portes RG, Aguiar AMM, Figueira LC, Gonçalves CB, Arthur V et al. Irradiated vacuum-packed lamb meat stored under refrigeration: Microbiology, physicochemical stability and sensory acceptance. *Meat Science.* 2014;97(2):151-5. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.01.026>
33. Tesfai A, Beamer SK, Matak KE, Jaczynski J. Effect of electron beam on chemical changes of nutrients in infant formula. *Food Chem.* 2014;149:208-14. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.110>
34. Kilcast D. Effect of irradiation on vitamins. *Food Chem.* 1994;49(2):157-64. [http://dx.doi.org/10.1016/0308-8146\(94\)90152-X](http://dx.doi.org/10.1016/0308-8146(94)90152-X)
35. World Health Organization – WHO. Safety and nutritional adequacy of irradiated food. Geneva: World Health Organization; 1994.
36. World Health Organization – WHO. Wholesomeness of irradiated food. Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee. Geneva: World Health Organization; 1981. (Technical report series, vol 659).
37. Song B-S, Park J-G, Park J-N, Han I-J, Choi J-I, Kim J-H et al. High-dose processing and application to Korean space foods. *Radiat Phys Chem* 2009;78(7-9):671-4. <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2009.03.073>
38. Narvaiz P, Giménez P, Horak, C, Adeil-Petranera M, Kairiyama E, Gronostajski D et al. Feasibility of obtaining safe, shelf-stable, nutritive and more varied whole rations for immunosuppressed patients by gamma irradiation. In: Radiation processing for safe, shelf-stable and ready-to-eat food. Proceedings of a final Research Co-ordination Meeting; 10-14 July 2000; Montreal, Canada. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2003. p. 62-84. (IAEA- TECDOC-1337).
39. Mastro NL. Alimentos esterilizados para uso em hospitais e rações militares. *Rev Bras Pesq Desenvol.* 1999;2(1):1-3.
40. Hénon Y. Food made safe by irradiation feeds landslide victims in Indonesia. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2014 [acesso em: 4 jul 2014]. Disponível em: <http://www.iaea.org/newscenter/news/2014/food-made-safe.html>
41. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. Resolução nº 21, DE 26 de janeiro de 2001. [Aprova o regulamento técnico para irradiação de alimentos]. *Diário Oficial da União.* 29 jan 2001;Seção 1:35.
42. Inamura PY, Kraide FH, Drumond WS, Lima NB, Moura EAB, Mastro NL. Ionizing radiation influence on the morphological and thermal characteristics of a biocomposite prepared with gelatin and Brazil nut wastes as fiber source. *Radiat Phys Chem.* 2013;84:66-9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2012.06.043>
43. Inamura PY, Uehara VB, Teixeira CAHM, Mastro NL. Mediate gamma radiation effects on some packaged food items. *Radiat Phys Chem.* 2012;81:1144-6. <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2012.01.022>
44. Oliveira MRR, Mandarino JMG, Mastro NL. Radiation-induced electron paramagnetic resonance signal and soybean isoflavones content. *Radiat Phys Chem* 2012;81(9):2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2011.12.010>
45. Teixeira CAHM, Inamura PY, Uehara VB, Mastro NL. Gamma radiation influence on technological characteristics of wheat flour. *Radiat Phys Chem.* 2012;81(9):1160-2. <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2011.12.014>
46. Rezende ACB, Igarashi MC, Destro MT, Franco BDGM, Landgraf M. Effect of gamma radiation on the reduction of *Salmonella strains*, *Listeria monocytogenes*, and Shiga toxin-producing *Escherichia coli* and sensory evaluation of minimally processed spinach (*Tetragoni expansa*). *J Food Protect.* 2014;77(10):1768-72. <http://dx.doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-14-108>
47. Nunes TP, Martins CG, Faria AF, Bíscola V, Souza KLO, Mercadante AZ et al. Changes in total ascorbic acid and carotenoids in minimally processed irradiated arugula (*Eruca sativa* Mill) stored under refrigeration. *Radiat Phys Chem.* 2013;90:125-30. <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2013.03.044>
48. Simon JW, Vieites RL. Qualidade pós-colheita de abacates “Hass” mantidos em temperatura ambiente e tratados com diferentes radiações. *Energia Agric.* 2014;29(3):213-9.
49. Silva Neto AM, Santos TRO, Dias SVS, Joachim-Bravo IS, Benevides LJ, Benevides CMJ, Silva MVL et al. Mass-rearing of Mediterranean fruit fly using low-cost yeast products produced in Brazil. *Sci Agric (Piracicaba).* 2012;69(6):364-9. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162012000600004>



50. Milagres RCRM, Polesi LF, Piedade J, Canniatti-Brazaca SG, Spoto MHF, Walder JMM. Aplicação da radiação gama associada a diferentes temperaturas para conservação de pimenta (*Capsicum baccatum* var. *pendulum*) in natura. *Alim Nutr (Araraquara)*. 2012;23(2):223-33.
51. Silva PPM, Groppo-Ortiz VD, Carmo LF, Silva GM, Walder JMM, Spoto MHF. Determinação do valor D10 para *Escherichia coli* em polpa de juçara irradiada. *Alim Nutr (Araraquara)*. 2011;22(2):279-82.
52. Mastrangelo TA, Parker AG, Jessup A, Pereira R, Orozco-Dávila D, Islam A et al. A new generation of X ray irradiators for insect sterilization. *J Econ Entomol*. 2010;103(1):85-94. <http://dx.doi.org/10.1603/EC09139>
53. Arthur V, Pires JA, Silva LCAS, Harder M, Franco SSH, Franco JG et al. Irradiação de cachaça comercial visando o seu envelhecimento precoce. *Tecnol Ciên Agropec*. 2014;8(3):11-3.
54. Silva LCAS, Harder M, Arthur PB, Pires JA, Modolo DM, Arthur V. Gamma radiation effects on figs ready-to-eat. *Ecosistema*. 2011/2012;36/37(1/2):39-46.
55. Oliveira ML, Arthur V, Polesi LF, Silva LCAS, Oliveira AL. Evaluation of production and gamma radiation effects in pasta enriched with brown flaxseed bagasse (*Linum usitatissimum* L.). *Eur Int J Sci Technol*. 2014;3:232-8.
56. Meleiro RM, Rizatto GT, Moura NC, Canniatti-Brazaca SG, Arthur V, Dias CTS. Análise descritiva quantitativa de pão francês enriquecido com linhaça e irradiado. *Bioenerg Rev Diálogos*. 2014;4:73-84.
57. Perina VCS, Arthur V, Harder M, Neme FF. Colorimetric characterization of read-to-eat irradiated carrots. *Rev Bras Prod Agroindustr*. 2014;16:173-8.
58. Silva LCAS, Harder MNC, Modolo DM, Piero EA, Arthur V, Bigide P. Effects of gamma radiation stored on cooked pine seed (*Araucaria angustifolia*). *Eur Int J Sci Technol*. 2013;2:7-12.
59. Pires JA, Harder MNC, Arthur V. Envelhecimento precoce de cachaça com irradiação gama (Co60) através da extração de compostos da uva. *Rev Bras Prod Agroindustr*. 2013;15:43-47.
60. Hallman GJ, Arthur V, Blackburn CM, Parker AG. The case for a generic phytosanitary irradiation dose of 250Gy for Lepidoptera eggs and larvae. *Radiat Phys Chem*. 2013;89:70-5. <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2013.03.046>
61. Alves JA, Arthur V, Marcos RP, Rossi MH. Analysis chromatography the *Ocimum basilicum*, *Origanum vulgare*, *Cymbopogon citratus* and *Thymus vulgaris* after gamma irradiation. *J Food Sci Technol*. 2013;1(2):9-22.
62. Pires JA, Delabio AS, Scanholato M, Harder MNC, Arthur V, Silva LCAS. Análise sensorial de vinhos tintos secos irradiados por radiação gama (Co60). *Rev Bras Viticult Enolog*. 2013;5:52-6.
63. Harder MNC, Silva LCAS, Pires JA, Scanholato M, Arthur V. Physical-chemical evaluation of wines subjected to gamma irradiation for aging. *Food Sci Technol*. 2013;1:62-5.
64. Franco CFO, Harder MNC, Arthur V. Quebra de dormência e influencia nos teores de bixina em sementes de urucum submetidas a radiação gama. *Tecnol Ciên Agropec*. 2013;7:13-8.
65. Fontes L, Arthur PB, Arthur V. Efeitos da radiação gama em sementes de feijão (*Vigna sinensis*) visando o aumento da produção. *Rev Verde Agroecol Desenvolv Sustentável*. 2013;8:11-4.
66. Souza ARM, Nogueira DP, Arthur V. The effect of irradiation in the preservation of pink pepper (*Schinus terebinthifolius* Raddi). *Radiat Phys Chem*. 2012;81(8):5-9.
67. Harder MNC, Arthur V. Sensory evaluation by gamma radiation effect on protein allergen of laying hen eggs. *Radiat Phys Chem* 2012;81:1-3. <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2012.02.040>
68. Machi AR, Arthur V. Efeitos da radiação gama em sementes de feijão de porco cultivados em diferentes substratos. *Rev Verde Agroecol Desenvolv Sustentável*. 2012;7:155-61.
69. Machi AR, Moraes GJ, Araujo R, Arthur V. Controle biológico do ácaro rajado (*Tetranychus urticae*) em morangueiro, utilizando o ácaro predador *Phytoseiulus fragariae* (Acari: Tetranychidae, Phytoseiidae). *Bol Sanid Veg Plagas*. 2012;38:17-31.
70. Vicentini M, Arthur V, Harder MNC. Efeito de baixas doses de radiação gama em sementes de pinhão manso *Jatrophaa urcata* L. *Bioenergia Rev Diálogos*. 2012;2:56-65.
71. Wei M, Zhou L, Song H, Yi J, Wu B, Li Y, Zhang L et al. Electron beam irradiation of sun-dried apricots for quality maintenance. *Radiat Phys Chem*. 2014;97:126-33. <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2013.11.019>
72. Fernandes A, Barreira JCM, Antonio AL, Oliveira MB, Martins A, Ferreira IC. Feasibility of electron-beam irradiation to preserve wild dried mushrooms: effects on chemical composition and antioxidant activity. *Innovative Food Sci Emerg Technol*. 2014;22:158-66. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2013.12.015>
73. Jung K, Yoon M, Park H-J, Lee KY, Jeong R-D, Song B-S, Lee J-W. Application of combined treatment for control of *Botrytis cinerea* in phytosanitary irradiation processing. *Radiat Phys Chem*. 2014;99:12-17. <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2014.01.025>
74. Moy JH, Wong L. The efficacy and progress in using radiation as a quarantine treatment of tropical fruits - a case study in Hawaii. *Radiat Phys Chem*. 2002;63(3-6):397-401. [http://dx.doi.org/10.1016/S0969-806X\(01\)00557-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0969-806X(01)00557-6)
75. International Standards for Phytosanitary Measures: guidelines for the use of irradiation as a phytosanitary measure. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2003 (ISPM, vol 18).
76. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BR). Instrução Normativa nº 9, de 24 de fevereiro de 2011. [Adotar as diretrizes da Norma Internacional para Medidas Fitossanitárias - NIMF nº 18 como orientação técnica para o uso da irradiação como medida fitossanitária com o objetivo de prevenir a introdução ou disseminação de pragas quarentenárias regulamentadas no território brasileiro]. *Diário Oficial da União*. 25 fev 2011;Seção 1:8.
77. Lee JW, Kim JH, Yook HS, Kang KO, Lee SY, Hwang HJ et al. Effects of gamma radiation on the allergenic and antigenic properties of milk proteins. *J Food Prot*. 2001;64(2):272-6.



78. Byun MW, Lee JW, Yook HS, Jo C, Kim HY. Application of gamma irradiation for inhibition of food allergy. *Radiat Phys Chem.* 2002;63(3-6):369-70. [http://dx.doi.org/10.1016/S0969-806X\(01\)00528-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0969-806X(01)00528-X)
79. Vaz AFM, Marthyna PS, Vieira LD, Aguiar JS, Silva TG, Medeiros PL et al. High doses of gamma radiation suppress allergic effect induced by food lectin. *Radiat Phys Chem.* 2013;85:218-26. <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2012.12.015>
80. Byun MW, Kim JH, Lee JW, Park JW, Hong CS, Kang IJ. Effects of gamma radiation on the conformational and antigenic properties of a heat-stable major allergen in brown shrimp. *J Food Prot.* 2000;63(7):940-4.
81. El-Niely HFG. Effect of radiation processing on antinutrients, in-vitro protein digestibility and protein efficiency ratio bioassay of legume seeds. *Radiat Phys Chem.* 2007;76(6):1050-7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2006.10.006>
82. Al-Kaisey MT, Alwan AKH, Mohammad MH, Saeed AH. Effect of gamma irradiation on antinutritional factors in broad bean. *Radiat Phys Chem.* 2003;67(3):493-6. [http://dx.doi.org/10.1016/S0969-806X\(03\)00091-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0969-806X(03)00091-4)
83. Dogbevi MK, Vachon C, Lacroix M. Physicochemical properties of dry red kidney bean proteins and natural microflora as affected by gamma irradiation. *J Food Sci.* 1999;64(3):540-2. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1999.tb15080.x>
84. Siddhuraju P, Makkar HPS, Becker K. The effect of ionising radiation on antinutritional factors and the nutritional value of plant materials with reference to human and animal food. *Food Chem.* 2002;78(2):187-205. [http://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00398-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00398-3)
85. Barros EA, Broetto F, Bressan DF, Sartori MMP, Costa VE. Chemical composition and lipoxygenase activity in soybeans (*Glycine max L. Merr.*) submitted to gamma irradiation. *Radiat Phys Chem.* 2014;98:29-32. <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2013.12.040>
86. Toledo TCF, Canniatti-Brazaca SG, Arthur V, Piedade SMS. Effects of gamma radiation on total phenolics, trypsin and tannin inhibitors in soybean grains. *Radiat Phys Chem* 2007;76(10):1653-6. <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2007.02.001>
87. Brasil. Lei nº 11.346, de 15 de setembro de 2006. Cria o Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional - SISAN com vistas em assegurar o direito humano à alimentação adequada e dá outras providências. *Diário Oficial da União.* 18 set 2006.
88. Brasil. Decreto nº 7.272, de 25 de agosto de 2010. Regulamenta a Lei nº 11.346, de 15 de setembro de 2006, que cria o Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional - SISAN com vistas a assegurar o direito humano à alimentação adequada, institui a Política Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional - PNSAN, estabelece os parâmetros para a elaboração do Plano Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional, e dá outras providências. *Diário Oficial da União.* 26 ago 2010.
89. Borges, JTS, Freitas AS. Aplicação do sistema hazard analysis and critical control points (HACCP) no processamento de carne bovina fresca. B. CEPPA (Curitiba). 2002;20(1):1-11. <http://dx.doi.org/10.5380/cep.v20i1.1131>
90. Almeida, CR. O sistema HACCP como instrumento para garantir a inocuidade dos alimentos. *Rev Hig Aliment.* 1998;12(53):12-20.
91. Mastro NL. Role of irradiation treatment in the food industry. *Int J Nuclear Gov Econ Ecol.* 2011;3(3):266-73. <http://dx.doi.org/10.1504/IJNGEE.2011.042213>
92. Bruhn CM. Strategies for communicating the facts on food irradiation to consumers. *J Food Protection.* 1995;2(4):128-222;213-6.
93. Teisl MF, Fein SB, Levy AS. Information effects on consumer attitudes toward three food technologies: organic production, biotechnology, and irradiation. *Food Qual Prefer.* 2009;20(8):586-96. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodqual.2009.07.001>
94. Lima ALB, Oliveira AGRC. Atitudes e conhecimento dos consumidores sobre os alimentos irradiados: um inquérito conduzido em Natal, Brasil. *Vig Sanit Debate.* 2014;2(2):81-7.
95. Benarde MA. *Our precarious habitat.* 2nd ed. New York: WW Norton;1973.



Esta publicação está sob a licença Creative Commons Atribuição 3.0 não Adaptada.

Para ver uma cópia desta licença, visite http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/deed.pt_BR.