



Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

Anna Lucia C. H. Villavicencio • Denise Levy
[Coord.]

IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS



Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS

Série IPEN Explica

Anna Lucia C. H. Villavicencio
Denise Levy
[Coord.]

Andréa Figueiredo Procópio De Moura • Anna Lucia Casañas Haasis Villavicencio
Amanda Cristina Ramos Koike • Bianca Guimarães Negrão • Daili de Andrade dos Santos Barreira
Denise Levy • João Pedro de Azevedo Barros • Luz Merida Rondan Flores
[Autores]

© 2025 Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares -IPEN

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS - A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. a violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do código penal.

O uso deste material está sob licença do Creative Commons nível CC-BY-NC-ND.

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES

Diretoria do IPEN

Isolda Costa

Coordenadoras

Anna Lucia C.H. Villavicencio

Denise Levy

Autores

Andréa Figueiredo Procópio De Moura

Anna Lucia Casañas Haasis Villavicencio

Amanda Cristina Ramos Koike

Bianca Guimarães Negrão

Daili de Andrade dos Santos Barreira

Denise Levy

João Pedro de Azevedo Barros

Luz Merida Rondan Flores

Preparação de texto

Carlos Otávio Flexa

Revisão de normatização

Kálu Sena

Projeto gráfico, diagramação e capa

Glaucio Coelho

Imagen de capa

capa elaborada sobre imagem

banco Shutterstock

Esta obra foi composta com

as famílias tipográficas

Dosis, Ubuntu Sans Condensed e

Niramit

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)

I71 Irradiação de alimentos / coordenadoras Anna Lucia C. H. Villavicencio e Denise Levy.
– 1 . ed. – São Paulo : IPEN, 2025.
112 p. ; 23 cm

Inclui bibliografia.

ISBN 978-65-6115-128-3 (E-book)

ISBN 978-65-6115-125-2 (Livro impresso)

1. Irradiação de alimentos. 2. Alimentos - Conservação por radiação. 3. Segurança alimentar. 4. Produção de alimentos - Inovações tecnológicas. I. Villavicencio, Anna Lucia C. H. II. Levy, Denise.

F-0909252/11

CDD23: 664 . 0288

Bibliotecária - Priscila Pena Machado - CRB-7/6971



DOI: 10.61367/9786561151283

Esta obra está licenciada com uma Licença Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Brasil

Direitos desta edição cedidos ao

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

Av. Profº Lineu Prestes, 2242 Cidade Universitária

São Paulo - SP CEP: 05508-000 Brasil

LISTA DE FIGURAS, TABELAS E QUADROS

FIGURAS

Figura 1:	Produtividade e área utilizada para a produção de grãos no Brasil	12
Figura 2:	Concentração da condição de insegurança alimentar em diferentes graduações no mundo	13
Figura 3:	Mapa de prevalência de desnutrição sobre a população total (em percentual)	13
Figuras 4 a 6:	Preparo de flores comestíveis para irradiação - Pata de vaca branca	31
Figuras 7 e 8:	Estudos com flores comestíveis irradiadas: pétalas irradiadas a 0,5 kGy, 0,8 kGy e 1,0 kGy	31
Figura 9:	Radura – símbolo internacionalmente utilizado para identificação de alimentos irradiados	41
Figuras 10 e 11:	Exemplos de algumas sementes de interesse para o consumo humano	57
Figuras 12 e 13:	Pesquisas com flores: girassóis e crisântemos	60
Figura 14:	Dados sobre frutas mais exportadas nos últimos dois anos	64
Figura 15:	Etapas da produção de frutas da colheita até o consumidor	65
Figura 16:	Benefícios da irradiação de alimentos alinhadas às ODS	66
Figura 17:	Fatores a serem considerados para determinação da dose ideal para frutas	67
Figura 18:	Exemplos de alguns equipamentos utilizados em análises para determinação de dose mínima	69
Figuras 19 e 20:	Casca da pitaya (<i>Hylocereus costaricensis</i>) e pitaya fresca para ser processada em farinha	80
Figura 21:	Processamento da farinha de pitaya vermelha (<i>Hylocereus costaricensis</i>)	81
Figuras 22 e 23:	Pitaya no pé (<i>Hylocereus costaricensis</i>) e pitaya à venda para o consumidor	83
Figura 24:	Aplicações da radiação ionizante na indústria alimentícia	91
Figura 25:	Resíduos agroindustriais do café: palha (A) e casca (B)	97
Figura 26:	<i>Viola tricolor</i> e <i>Tropaeolum majus</i>	104
Figura 27:	<i>Dianthus chinensis</i> e <i>Tagetes patula</i>	106
Figura 28:	<i>Clitoria ternatea</i> e <i>Acemella oleracea</i>	107

TABELAS

Tabela 1:	Recuperação de compostos de resíduos de frutas para alimentos nutracêuticos e funcionais	75
Tabela 2:	Aplicações de compostos bioativos recuperados de resíduos de frutas no desenvolvimento de alimentos funcionais	76
Tabela 3:	Farinha de resíduos de frutas e os compostos bioativos	78
Tabela 4:	Efeitos e doses da irradiação em farinhas de fruta da pitaya	81

QUADROS

Quadro 1: Aplicações da radiação em produtos alimentícios	39
Quadro 2: Aplicações, doses e efeitos da irradiação em resíduos agroindustriais	95

SUMÁRIO

PARTE I – RADIAÇÕES: PERCEPÇÃO DE RISCO EQUIVOCADA	9
O CONTRIBUTO DAS CIÊNCIAS NUCLEARES NO COMBATE AO DESPERDÍCIO E À INSEGURANÇA ALIMENTAR	
<i>Andréa Figueiredo Procópio de Moura</i>	11
Referências	16
PARTE II – RADIAÇÕES: SOBRE IRRADIAÇÕES DE ALIMENTOS	17
INFORMAÇÕES SOBRE IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS, APLICAÇÕES, ABORDAGENS E PONTOS PRINCIPAIS EXPOSTOS	
<i>Anna Lucia Casañas Haasis Villavicencio</i>	19
Aspectos gerais sobre a irradiação de alimentos	21
Perguntas frequentes	21
Resenha sobre a irradiação de alimentos	26
Aplicações em produtos alimentícios	32
Produtos de origem animal	35
Elementos naturais encontrados nos alimentos	36
Normas, decretos, regulamentações para irradiação de alimentos	41
Considerações finais	47
Referências	48
PARTE III – COLETÂNEAS [APLICAÇÕES: PESQUISAS INOVADORAS NO IPEN]	49
IRRADIAÇÃO DE SEMENTES	
<i>Daili de Andrade dos Santos Barreira</i>	51
História da irradiação de sementes	53
A mutagênese de sementes	55
Casos de sucesso de irradiação de sementes	58
Referências	61
IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS E COMÉRCIO DE FRUTAS NO BRASIL	
<i>Bianca Guimarães Negrião</i>	63
Produção de frutas no Brasil	63
Processamento por Radiação ionizante em frutas	65
FARINHAS IRRADIADAS DE RESÍDUOS DE FRUTAS: CONTRIBUIÇÕES PARA OS ODS E MELHORAMENTOS TECNOLÓGICOS	
<i>Luz Merida Rondan Flores</i>	71
Introdução	71
Contribuições para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)	72
Reaproveitamento de resíduos de frutas	74

Processos de produção: transformação de cascas e outros resíduos em farinhas	77
Melhoria tecnológica da farinha de fruta pitaya com radiação ionizante	79
Pitaya: nutrientes e benefícios para a saúde humana	82
Referências	85
PROCESSO DE IRRADIAÇÃO EM RESÍDUOS AGROINDUSTRIALIS	87
<i>João Pedro de Azevedo Barros</i>	
Introdução	87
Efeitos da irradiação em alimentos e resíduos	89
Exemplos de aplicações na indústria alimentícia	90
Compostos bioativos em resíduos agroindustriais	92
Radiação ionizante em resíduos agroindustriais	93
Conclusões	97
Referência	98
FLORES COMESTÍVEIS	102
<i>Amanda Cristina Ramos Koike</i>	
Introdução	102
Histórico	103
Características de algumas flores comestíveis	104
Importância da identificação da espécie	107
Propriedades bioativos e atividade antioxidante	108
Processamento por radiações ionizantes	109
Referências	110

PARTE 1



PARTE I

**Andréa Figueiredo Procópio De Moura
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA)**

"A irradiação de alimentos surge como uma alternativa viável para contribuir no enfrentamento de muitos desafios. Como a irradiação promove um retardo na maturação de frutos e vegetais, assim como no processo de deterioração, essa tecnologia contribui de forma expressiva para a extensão da vida de prateleira (validade) dos alimentos tratados. Da mesma forma, ao promover a inativação de parasitas e outros organismos patogênicos, como vírus e bactérias, melhora também a condição sanitária de produtos vegetais e animais aumentando a segurança e preservando a saúde do consumidor."



RADIÇÕES

PERCEPÇÃO DE RISCO EQUIVOCADA

O Contributo das Ciências Nucleares no Combate ao Desperdício e à Insegurança Alimentar

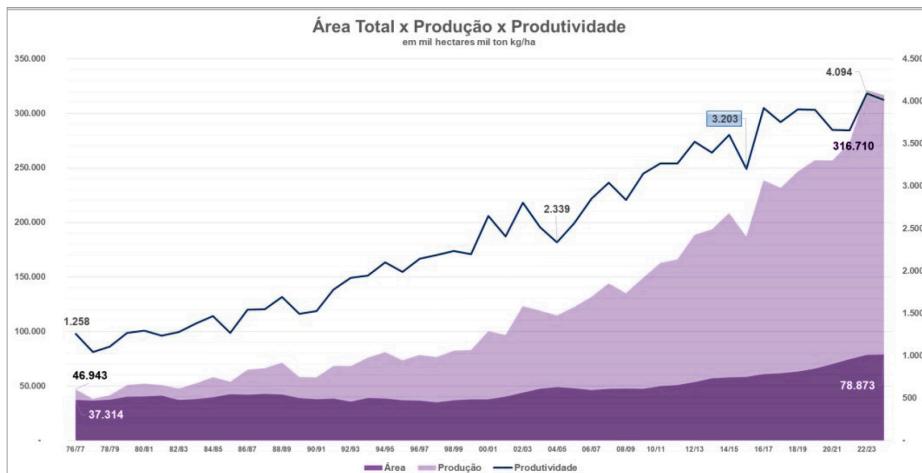
Andréa Figueiredo Procópio de Moura



A agricultura desempenha um papel fundamental no desenvolvimento socioeconômico de diversos países e na busca da segurança alimentar de toda a população.

O Brasil, como um grande produtor de alimentos, tem na agricultura o alicerce de sua economia e possui potencial para suprir grande parcela da demanda mundial de alimentos. O país possui disponibilidade de área a ser explorada, água em abundância, clima favorável e domínio da tecnologia de produção em clima tropical, o que permitiu que nos últimos cinquenta anos saísse da condição de um país importador para um grande produtor e exportador de alimentos.

Neste período, o Brasil aumentou sua produção de grãos em quase 400 %, utilizando para isso uma área apenas 45 % maior (figura 1). Da mesma forma, houve um incremento de 250 % do efetivo no rebanho nacional e um aumento de apenas 39 % da área de pastagem utilizada para a criação desses animais. Esse expressivo aumento de produtividade obtido sem a ampliação significativa da área explorada é um dos resultados da tecnologia aportada em nossos sistemas produtivos e um exemplo da sustentabilidade da agropecuária brasileira, assim como do potencial que o país possui de seguir provendo alimentos para todo o mundo.

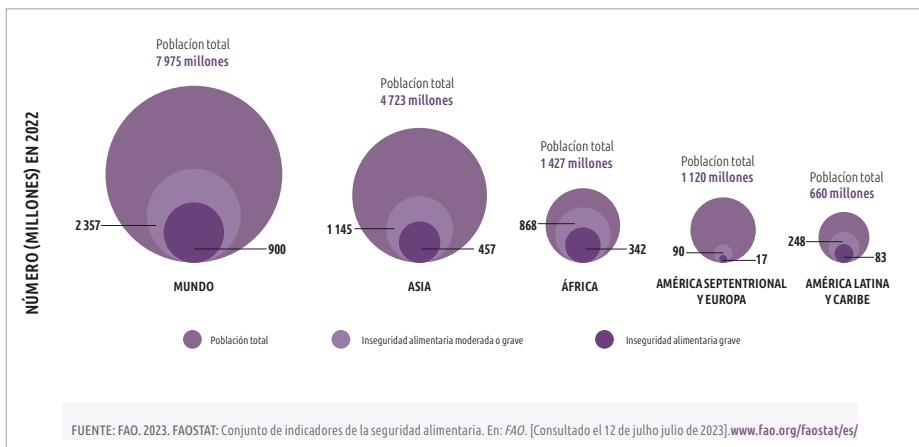
Figura 1: Produtividade e área utilizada para a produção de grãos no Brasil.

Fonte: INSPER, com dados do LAPIG e IBGE, 2023 / Conab, 2024.

A segurança alimentar segue sendo uma preocupação para diversas nações. Além da demanda crescente por maior produção de alimentos, gerada pela pressão demográfica, outro grande desafio a ser vencido é possibilitar o amplo acesso a esses alimentos, saudáveis e nutritivos, principalmente por parte de populações mais vulneráveis.

Fatos recentes como a pandemia do covid-19, conflitos geopolíticos no Leste Europeu e no Oriente Médio, assim como os eventos climáticos severos observados em diferentes partes do globo tem interrompido a cadeia de fornecimento de insumos, máquina e equipamentos agrícolas, afetando a produção de alimentos e com isso diminuindo a oferta que, por consequência, leva também ao aumento de preços. Esse fatores associados tornaram o acesso aos alimentos ainda mais dificultado para populações mais vulneráveis e isso se fez perceber nos números publicados nos anuários mais recentes da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, figura 2). Os anuários apontam, a cada ano, uma elevação no número de pessoas em condição de insegurança alimentar, em diferentes estágios, de moderado a severo, atingindo um montante aproximado de 735 milhões de pessoas em situação de desnutrição com maior prevalência em países da África e Ásia (FAO, 2024, figura 3).

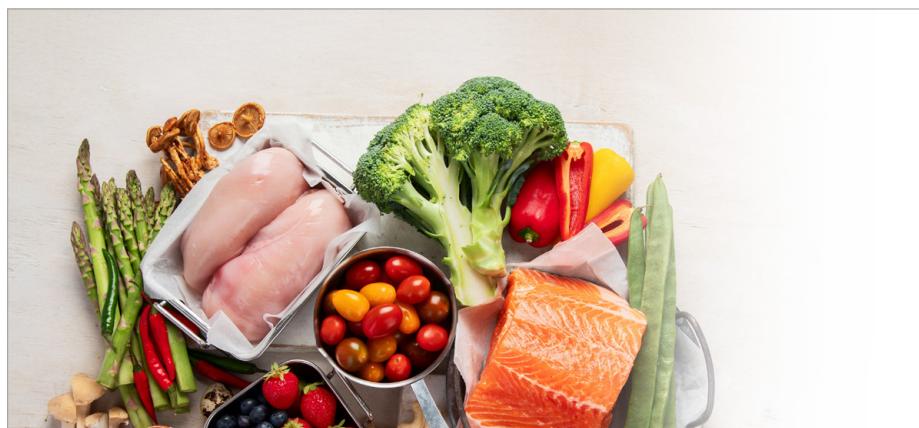
Figura 2: Concentração da condição de insegurança alimentar em diferentes graduações no mundo



Fonte: FAO, 2023. Disponível em: www.fao.org/faostat/es/#data/FS. Acessado em: 12 jul. 2023.

Insegurança alimentar é definida pela FAO como a "situação em que as pessoas não têm acesso regular a alimentos seguros e nutritivos suficientes para um crescimento e desenvolvimento normais e uma vida ativa e saudável. Essa condição pode ser causada pela indisponibilidade de alimentos e/ou falta de recursos para obter alimentos.

Figura 3: Mapa de prevalência de desnutrição sobre a população total (em percentual)



Fonte: Elaborado pelo Insper Agro Global com base nos dados FAOSTAT (2024).

Além da produção mundial de alimentos estar mal distribuída e não estar acessível para a maioria das pessoas, as perdas e desperdícios de alimentos se somam aos problemas globais.

Estimativas da FAO apontam que algo em torno de 1/3 de todos os alimentos produzidos no mundo são desperdiçados até o final da cadeia de consumo sendo que 14 % deles são perdidos antes de chegar às redes de varejo e consumo. Frutas e hortaliças representam os maiores índices de perdas, em torno de 22 % (FAO, 2019).

Para enfrentar esse desafio, foi lançada a iniciativa “Safe Food”m, pela FAO e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma), em que vários países implementaram campanhas de promoção do consumo sustentável de alimentos e estabeleceram metas de redução das perdas e desperdício de alimento.

Entre os dezessete Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, estabelecidos, em 2015, pela ONU, temos a meta de reduzir pela metade, até 2030, o desperdício de alimentos per capita mundial, nos níveis de varejo e do consumidor, e reduzir as perdas de alimentos ao longo das cadeias de produção e abastecimento, incluindo as perdas pós-colheita.

O Brasil está entre os países que mais perdem ou desperdiçam alimentos no mundo. Em 2015, ocupava o *ranking* dos dez países que mais perdem alimentos, com cerca de 35 % da produção sendo desperdiçada anualmente. Em relação ao desperdício, as famílias brasileiras desperdiçam, em média, 353 gramas de comida por dia ou 128,8 kg por ano (Porpino *et al.* 2018). Dentre os alimentos mais desperdiçados figuram o arroz (22 %), carne bovina (20 %), feijão (16 %) e frango (15 %).

Já na rede varejista, dados da Associação Brasileira de Supermercados (ABRAS) divulgados em abril de 2021, no 9.º Fórum de Perdas no Varejo, estimam 1,8 % do faturamento bruto do setor, algo em torno de 7,6 bilhões de reais anuais em perdas, o que corresponde ao faturamento da quinta maior empresa supermercadista do país (Nunes-Filho, 2021).

São números expressivos e preocupantes, principalmente quando se consideram todos os custos de recursos materiais, humanos e ambientais dispensados para essa produção, que acaba sendo perdida junto com o alimento. É preciso que o combate às perdas e ao desperdícios de alimentos seja incluída na agenda das instituições públicas, privadas e a sociedade em geral pois o enfrentamento desse problema requer o compromisso de todos, considerando os aspectos ético, ambiental e social envolvidos.

Por essa razão, não pode ser negligenciada a utilização de quaisquer tecnologias que possam contribuir para atenuar ou reverter esse cenário,

seja propiciando o aumento da produção de alimentos, em quantidade e qualidade, ou a redução das perdas ao longo da cadeia de produção até o consumo, oportunizando assim o maior acesso a esses alimentos às populações necessitadas.

Nesse contexto, a irradiação de alimentos surge como uma alternativa viável para contribuir no enfrentamento desses desafios. Como a irradiação promove um retardamento na maturação de frutos e vegetais, assim como no processo de deterioração, essa tecnologia contribui de forma expressiva para a extensão da vida de prateleira (validade) dos alimentos tratados. Da mesma forma, ao promover a inativação de parasitas e outros organismos patogênicos, como vírus e bactérias, melhora também a condição sanitária de produtos vegetais e animais aumentando a segurança e preservando a saúde do consumidor. Todos esses fatores dão aos alimentos irradiados condições para que cheguem a lugares mais remotos, ainda saudáveis e aptos ao consumo.

Vale ressaltar que a redução dos riscos associados à produção de alimentos, pelo controle de doenças na área vegetal e animal, além de trazerem benefícios diretos sobre a saúde pública, ainda refletem positivamente para a competitividade dos produtos brasileiros, possibilitando que eles alcancem novos mercados no comércio internacional. O acesso aos mercados internacionais e o livre comércio é condição essencial para a segurança alimentar pois possibilita que países autossuficientes na produção de alimentos possam fornecer seus excedentes para nações que não são consigam suprir as necessidades de sua população, seja em quantidade ou em diversidade de produtos, necessárias para o adequado aporte e equilíbrio nutricional de suas dietas.

Num mundo cada vez mais globalizado e conectado é essencial que se mantenha o controle sanitário dos produtos e cargas que circulam entre os países. O Brasil, como grande protagonista no comércio internacional de alimentos precisa seguir requisitos internacionais de biosseguridade assim como tem autonomia para estabelecer suas próprias medidas de controle visando preservar o patrimônio agrícola e pecuário nacional. A capacidade da irradiação de promover a desinfestação de pragas e insetos assegura as condições necessárias para que o comércio internacional possa seguir acontecendo entre diferentes regiões do globo com status sanitários distintos.

O uso da radiação está amplamente respaldado em estudos científicos e técnicos e possui amparo em legislação específica seguindo normas e recomendações internacionais da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), Codex Alimentarius e documentos da FAO. Essa tecnologia já é utilizada em larga escala em outros países, mas ainda se apresenta

incipiente no Brasil, apesar do país já possuir a maior parte dos elementos necessários à sua implementação como base legal, instituições especializadas no tema com produção de conhecimento específico, domínio da técnica e de suas operações, interesse por parte do setor produtivo e apoio das instâncias governamentais.

Entretanto ainda persiste muito desconhecimento sobre o emprego da tecnologia. Apesar da energia nuclear possuir um uso muito mais amplo em benefício das necessidades da sociedade, ainda persiste uma associação de seu uso com finalidades bélicas. Para isso é preciso um trabalho de comunicação, esclarecimento e sensibilização para demonstração da enorme gama de benefícios alcançados com o emprego da tecnologia em diversas áreas, como saúde e alimentação, para que o cidadão comum sinta-se seguro ao adquirir e utilizar em sua dieta produtos tratados com radiação ionizante.

Por fim, é necessário destacar que o emprego da radiação ionizante nos alimentos e outros produtos agropecuários enseja potencialidades de cunho econômico e social singulares no campo da agropecuária, com elevado potencial de geração de emprego e renda e perspectivas de resultados a curto e médio prazos. O seu emprego pode alavancar de modo expressivo segmentos do agronegócio em diferentes regiões do país, reduzir substancialmente desperdícios de alimentos, ampliar a qualidade e conformidade de produtos agropecuários, garantindo sua inocuidade para consumidores e reduzindo riscos sanitários e fitossanitários contribuindo com o compromisso que o país possui na promoção da segurança alimentar mundial.

■ REFERÊNCIAS

- FAO. 2019. The State of Food and Agriculture 2019. Moving forward on food loss and waste reduction. Rome. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/items/ba08937f-4a41-4ff5-a4e7-e495e-5f5f599>. Acesso em: 29 jun. 2024.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Hunger and food insecurity. [s.l.], 2024. Disponível em: <https://www.fao.org/hunger/en/> Acesso em: 28 jun. 2024.
- NUNES-FILHO, Roberto. O bilionário desafio dos supermercados brasileiros. *Superhiper*, [s.l.], ano 47, n. 536, p. 58, 2021 Disponível em: <https://superhyper.abras.com.br/pdf/269.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2024.
- PORPINO, G.; LOURENÇO, C. E.; ARAÚJO, C. M.; BASTOS, A. *Intercâmbio Brasil–União Europeia sobre desperdício de alimentos*. Brasília: Diálogos Setoriais União Europeia – Brasil, 2018. Relatório final de pesquisa. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1105525>. Acesso em: 16 jul. 2024.

PARTE 2



PARTE 2

Anna Lucia Casañas Haasis Villavicencio

"A aplicação da radiação ionizante, com o propósito de preservar e desinfestar grãos, surge como uma prática promissora, utilizada para estender a vida de prateleira e reduzir as perdas das safras durante a armazenagem do produto. Uma das aplicações deste processo é a redução de carga microbiana e de parasitas, que podem causar grandes surtos de doenças transmitidas por alimentos (DTAs). A aplicação do processo de irradiação pode reduzir cargas microbianas a níveis próximos de zero."



RADIAÇÕES

SOBRE IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS

Informações sobre irradiação de alimentos, aplicações, abordagens e pontos principais expostos

Anna Lucia Casañas Haasis Villavicencio



Neste capítulo, falaremos um pouco da história da irradiação de alimentos no Brasil e no mundo bem como transmitimos o conhecimento que partilhamos com outros cientistas tanto nacionais como internacionais, nas áreas de duas ciências que se cruzam neste momento: a área de aplicações pacíficas da Energia Nuclear e a área da Ciência dos Alimentos, interagindo positivamente nestas últimas décadas.

Recomendamos que o conhecimento sobre o tema da tecnologia das radiações seja revisado pelo leitor e a tecnologia compreendida sem erros de conceitos, pois o tema traz controvérsias naturalmente e o medo e o desconhecimento causam um efeito negativo de aceitação junto ao consumidor. O nome desta tecnologia, “irradiação de alimentos”, leva muitas pessoas a pensarem, erroneamente, de imediato, em desastres nucleares de grandes proporções e de grandes acidentes em que a contaminação radioativa, com efeitos destrutivos induz o erro na compreensão pelos consumidores. Não se deve esquecer que este processo é aplicado de forma pacífica, visando à segurança do alimento.

Com o objetivo de se apresentar informações sobre a irradiação de alimentos, abordamos alguns pontos principais neste tema, certos que com o processo de globalização em curso, está o Brasil inserido neste contexto, assim como alguns países da América Latina (por exemplo: Argenti-

na, Chile, México, Peru e Uruguai) que mais utilizam e comercializam seus produtos agrícolas processados por radiação ionizante. As informações aqui apresentadas vão desde o conhecimento básico do processo de irradiação até a aplicação no alimento, sendo uma compilação de resultados de trabalhos científicos realizados em diversos centros de pesquisas nacionais e internacionais.

Não são todas as pessoas que têm acesso aos avanços e ao conhecimento de certos benefícios da tecnologia, neste sentido, nossos esforços se dobram para produzirmos informação correta e de qualidade, relacionada aos alimentos para ser aplicada, oferecida e disseminada corretamente aos consumidores com bases de segurança do alimento. Abordamos as dúvidas mais frequentes encontradas em nossas pesquisas junto ao consumidor e vamos esclarecer os fatos. O que é irradiação de alimentos? Por que alimentos são processados por radiação? É seguro um alimento irradiado/processado por radiação? O processo de irradiação torna o alimento radioativo? Quem controla o processo? Encontramos nos mercados alimentos processados por radiação? Os alimentos irradiados são estéreis? Este processo é rotulado? A irradiação promove perdas nutricionais nos alimentos? Promove alterações sensoriais? E o custo benefício? Existe comércio para alimentos irradiados? Quem comercializa? Para responder estas perguntas, vamos nos remeter a vários estudos e publicações que explicam o conceito e as aplicações pacíficas das radiações e principalmente as radiações ionizantes, utilizadas nos equipamentos que processam os alimentos com a finalidade de aumentar sua segurança, sejam eles embalados ou *in natura*.

Partindo desta premissa, que o conhecimento no universo da Tecnologia Nuclear é amplo e pode ser utilizado também no processamento de alimentos, por máquinas construídas com tecnologia e segurança, podemos dar os primeiros passos em direção à história da irradiação de alimentos no seu início e no Brasil. É interessante notar que atividades e percepções de um passado recente, nos trazem novos incentivos para o trabalho cotidiano e sempre há ocasiões onde um olhar para a história nos mostra a grandiosidade desta tecnologia com um vasto potencial de aplicações pacíficas para a humanidade, especialmente durante as últimas décadas. Com a perspectiva de se compartilhar informações relacionadas à irradiação de alimentos e considerando a importância desta técnica para a população em geral, vamos abordar nos próximos capítulos, as maiores dúvidas que nos foram apresentadas pelos consumidores nas diferentes pesquisas que efetuamos nestes últimos anos.

1 ASPECTOS GERAIS SOBRE A IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS

As necessidades mundiais de alimentos seguem aumentando e os problemas, advindos da demanda de estruturas adequadas de armazenagem e processamento, nos obrigam a buscar novos métodos de preservação. Nesta época de grandes transformações, a aplicação da radiação ionizante, com o propósito de preservar e desinfestar grão, especiarias, erva secas, frutas, hortaliças, carne vermelha/branca (bovina, equina, suína, entre outras), carne de aves, pescados e frutos do mar entre outros produtos, surge como uma prática promissora utilizada por diversos países para estender a vida de prateleira, reduzir carga microbiana e as perdas durante a armazenagem do produto, sendo também aplicada para melhorar características tecnológicas de certos alimentos. A irradiação é utilizada como um método de preservação dos alimentos e produtos alimentícios tanto a granel como os embalados processados industrialmente, segundo recomendações do comitê misto entre a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação (FAO), Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) e a Organização Mundial de Saúde (OMS) que sempre se esforçam em promover a atualização das pesquisas e decisões neste tema, pela importância da segurança dos alimentos básicos em muitos países.

2 PERGUNTAS FREQUENTES

2.1 O QUE É IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS?

É um processo no qual o alimento é submetido a uma dose controlada de energia utilizando radiações ionizantes para conseguir um efeito desejado. São utilizados os raios Y, raios X e elétrons acelerados produzidos em máquinas apropriadas, os aceleradores de elétrons. A radiação é produzida em quantidades conhecidas e bem estabelecidas por normas e organismos nacionais e internacionais.

POR QUE ALIMENTOS SÃO PROCESSADOS POR RADIAÇÃO?

- A aplicação da radiação ionizante, com o propósito de preservar e desinfestar grãos, surge como uma prática promissora, utilizada para estender a vida de prateleira e reduzir as perdas das safras durante a armazenagem do produto.
- A irradiação é utilizada como um método de preservação dos alimentos, a granel ou embalados. Esta tecnologia é direcionada para minimizar as grandes perdas que ocorrem por contaminação e decomposição causadas por bactérias.

- Com relação à crescente preocupação sobre as doenças transmitidas por alimentos (DTA), a aplicação do processo de irradiação pode reduzir cargas microbianas a níveis próximos de zero, como por exemplo, *Escherichia coli* O157:H7, bactéria conhecida por causar doença hemorrágica quando consumimos carne malpassada ou crua contaminada com esta bactéria.
- O aumento do comércio internacional de produtos alimentícios é outra necessidade, por estar sujeito a normas de exportação rígidas em matéria de qualidade e de quarentena que se somam à necessidade de se irradiar o alimento.
- A irradiação parece ser mais eficiente na redução da contaminação bacteriana em alimentos minimamente processados do que os sanitizantes. Em geral, doses de 2 kGy reduzem o número de bactérias em três a quatro ciclos log e as leveduras em um ou dois ciclos log. Por esta razão a irradiação de alimentos, é pesquisada exaustivamente por mais de quarenta anos e tem demonstrado ser segura, eficiente e com inúmeros benefícios, quando associada às boas práticas de manufatura e de distribuição e em alguns casos quando se utiliza combinada com outros processos de alimentos, por exemplo conjugada com a sanitização, atmosfera modifica, congelamento entre outros.
- Certos vírus que também são encontrados nos alimentos e muitas vezes não são possíveis de serem eliminados para garantir a salubridade do alimento, necessário à sua segurança. Devido ao seu baixo teor de umidade e tamanho, os vírus são mais resistentes que as bactérias, inclusive as formadoras de esporos. Se irradiarmos com altas doses de radiação, com a finalidade de destruir vírus em geral, vamos afetar as propriedades organolépticas dos alimentos e criar radicais prejudiciais relacionados com a parte nutricional dos alimentos.

2.2 É SEGURO COMER UM ALIMENTO IRRADIADO/ PROCESSADO POR RADIAÇÃO?

Sim. Alimento irradiado não é alimento contaminado. O processo visa um alimento cada vez mais saudável, mantendo suas características naturais. Cientistas de diferentes áreas (principalmente da área de ciências e engenharia de alimentos) têm se esforçado com os estudos da aplicação segura desta tecnologia e também com a aplicação das qualidades tecnológicas nos alimentos. A irradiação de alimentos é uma tecnologia crescente em diversos países e é aplicada em diferentes tipos de alimen-

tos. Assim como em outros processos de alimentos, esta tecnologia não pode ser aplicada indiscriminadamente em todos os alimentos, alguns não se adequam e, nesses casos, devem ser escolhidos outros processos mais pertinentes. Os alimentos em geral, respondem melhor a doses médias e baixas de radiação, conforme suas características e propriedades nutricionais. Um diferencial importante é que o processo de irradiação não cozinha os alimentos, pois não há elevação de temperatura. É possível eliminar diferentes tipos de patógenos sem causar danos nas características naturais dos alimentos.

2.3 O PROCESSO DE IRRADIAÇÃO Torna o ALIMENTO RADIOATIVO?

Não. Alimento irradiado não é alimento radioativo. A irradiação de alimentos é um tratamento que consiste em submeter os alimentos, já embalados ou a granel, a uma quantidade minuciosamente controlada de radiação ionizante, por um tempo prefixado e com objetivos bem determinados. O processo não aumenta o nível de radioatividade natural dos alimentos. A radiação que utilizamos para processar e tornar os alimentos saudáveis são provenientes de ondas eletromagnéticas. Os alimentos irradiados não ficam radioativos após este procedimento pois são utilizadas nos alimentos radiações ionizantes com energia inferior ao limiar das reações nucleares que poderiam induzir radioatividade no material irradiado. A dose média global absorvida por um alimento submetido a um processo de irradiação não deverá exceder a dose de 10 kGy, com a finalidade de assegurar a inocuidade do alimento irradiado, sob os pontos de vista toxicológico, nutricional e microbiológico.

2.4 QUEM CONTROLA O PROCESSO? E SE O ALIMENTO ESTÁ DENTRO DAS NORMAS DE SEGURANÇA ALIMENTAR?

Sistemas dosimétricos são utilizados conforme cada tipo de radiação ou máquina utilizada durante o processamento. Estes sistemas têm o propósito de verificar se a dose correta foi aplicada ao produto. São adequados para medir doses de utilização que vão de 0,1 a 50 kGy. São de simples utilização, apresentam reproduzibilidade e estabilidade, são fáceis de serem calibrados e tem rastreabilidade. A validação do processo industrial é feita segundo a norma AAMI/ISO-11137.

Com relação à segurança do alimento, oficialmente organismos governamentais tais como o Ministério da Saúde e o da Agricultura devem controlar por meio de rotulagem este processo, para evitar possíveis fraudes.

2.5 ENCONTRAMOS NOS MERCADOS ALIMENTOS PROCESSADOS POR RADIAÇÃO? QUAIS AS VANTAGENS?

Sim. Algumas vezes em determinados locais de comercialização de alimentos, encontramos a especificação do processamento por radiação na embalagem do produto. As maiores vantagens da aplicação do processamento por radiação em alimentos embalados ou prontos para consumo é a diminuição de micro-organismos nocivos à saúde humana. A irradiação de alimentos também é utilizada para controle de insetos em diversos tipos de alimentos embalados reduzindo as perdas de alimentos. Outra vantagem é a conservação por mais tempo sem brotamento em tubérculos, bulbos, raízes, grãos e frutos.

2.6 OS ALIMENTOS IRRADIADOS SÃO ESTÉREIS?

É conhecido e bem estabelecido pelo *Codex Alimentarius* e aprovado pelo Food and Drug Administration (FDA), que a irradiação nas doses utilizadas para alimentos, não devem esterilizar o alimento. Isso porque para fins de esterilização seriam necessárias altas doses que poderiam acarretar importantes perdas de nutrientes. O objetivo do processamento por radiação é proteger o alimento contra a deterioração e reduzir a carga de bactérias potencialmente prejudiciais, deixando o alimento saudável e o mais próximo possível de suas características naturais. Como em qualquer produto alimentar, os trabalhadores e consumidores de serviços de alimentação devem seguir as boas práticas de fabricação e de manuseio para proteger o alimento de contaminações cruzadas. A irradiação, quando usada em conjunto com outros processos de conservação e técnicas de preparo, diminui a carga microbiana e outras doenças de alimentos. Em combinação com outros processos, como por exemplo, calor, baixa atividade de água, pH, atmosfera modificada, salga, acidificantes, embalagens, entre outros, a irradiação pode oferecer produtos mais estáveis em condições tropicais. Em alguns produtos, o tratamento químico e/ou físico e a radiação, chamado de tratamentos combinados, oferece vantagens sobre os tratamentos não combinados.

2.7 ESTE PROCESSO É ROTULADO?

Sim. No Brasil a rotulagem com dizeres apropriados é obrigatória por legislação da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA).

2.8 A IRRADIAÇÃO PROMOVE PERDAS NUTRICIONAIS NOS ALIMENTOS?

Pesquisas demonstram que os macronutrientes, tais como as proteínas e os carboidratos são relativamente estáveis às doses de radiação de

até 10 kGy, as gorduras são mais sensíveis por causa da sua peroxidação mais acentuada formando o conhecido gosto de ranço se for irradiada com doses mais altas e os micronutrientes, principalmente as vitaminas, podem ser tão sensíveis ao processo de irradiação quanto a qualquer outro método de tratamento de alimentos. A sensibilidade de diferentes tipos de vitaminas ao processo de irradiação e a outros processos de tratamento de alimentos é variada.

Os alimentos em geral contêm algumas componentes chaves que, embora presentes em concentrações muito baixas, regulam seu aspecto, o sabor e o seu valor nutritivo. Esses componentes são muito sensíveis à irradiação e, portanto, se a dose de radiação for alta, pode causar transformações prejudiciais no sabor, no odor e na cor de determinados alimentos. Por isso, para cada alimento, são estudadas as melhores e mais adequadas doses.

2.10 PROMOVE ALTERAÇÕES SENSORIAIS?

As alterações nas propriedades sensoriais dos alimentos são resultantes principalmente de reações químicas. A análise sensorial deve ser utilizada para avaliar atributos sensoriais de alimentos que foram processados por radiação, paralelamente aos estudos de parâmetros físicos de avaliação tais como cor e textura medidos por equipamentos. Como toda tecnologia, a irradiação de alimentos apresenta limitações, as doses de radiação aplicadas neste processo devem atingir as finalidades almejadas (eliminação de insetos ou redução da carga microbiana, por exemplo) e preservar as características sensoriais dos alimentos. É conhecido, por exemplo, alterações sensoriais de odor, dependendo da dose de irradiação e da composição do alimento. É necessário então encontrar um equilíbrio para que a dose escolhida produza os efeitos saudáveis necessários.

2.11 E O CUSTO-BENEFÍCIO?

Concluiu-se, por meio de estudo feito em pesquisas bibliográficas, sobre a viabilidade econômica, que o processo de irradiação de alimentos, apesar de possuir um investimento inicial relativamente alto, traz retorno rápido para um processo contínuo.

Os custos para irradiação de alimentos variam de US\$ 10,00 a \$ 15,00 por tonelada para uma aplicação de baixa dose e de US\$ 100,00 a \$ 250,00 por tonelada para aplicação de altas doses.

A tendência é a difusão da tecnologia, principalmente nos países que possuem uma economia agrária importante. Como o Brasil é hoje um gran-

de produtor e exportador de alimentos, deve estar preparado para os impactos das novas tecnologias. O investimento nesta tecnologia possibilita formas seguras e versáteis para obter alimentos de boa qualidade, reduzindo as perdas pós-colheita e os problemas da entressafra.

2.12 EXISTE COMÉRCIO PARA ALIMENTOS IRRADIADOS?

Sim. Principalmente os grãos que são importantes fontes proteicas para a população mundial. Anualmente ocorrem altas perdas a cada colheita, por infestação de insetos durante o armazenamento ou por contaminação fúngica. Para combater estas perdas, o processamento por radiação de grãos é uma alternativa atraente e saudável, comparado aos tratamentos químicos. O mercado internacional desenvolve papel fundamental para a aplicação desta tecnologia.

2.13 QUEM COMERCIALIZA?

Muitos produtores, exportadores e distribuidores de alimentos, comércio internacional de exportação e importação de ervas e especiarias, frigoríficos e indústria de alimentos já utilizam esta tecnologia bem aceita pela maioria da população mundial.

3 RESENHA SOBRE A IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS

3.1 HISTÓRICO NO MUNDO

Neste capítulo apresentaremos um breve resumo de datas e fatos relacionados à irradiação de alimentos. Em 1895 houve a descoberta dos Raios X por Roentgen e no ano seguinte, 1896 houve a descoberta da Radioatividade por Becquerel. Neste ano já foram registrados estudos do efeito dos raios X em micro-organismos.

A primeira patente, inglesa, visando à destruição de bactérias nos alimentos foi publicada em 1905. Relatos descrevem que, em 1918, nos Estados Unidos da América foi publicada uma patente americana sobre conservação de alimentos utilizando a radiação.

Na década de 20, precisamente em 1921, os raios X passaram a ser utilizados para eliminar parasitas. Schwartz obteve a patente para eliminar *Trichinella spirallis* em carne. Em 1930, Wust obteve a patente francesa para irradiação de alimentos embalados, utilizando raios X, também para eliminar bactérias.

Na década de quarenta, com o período de pré-guerra mundial, em 1943, foi relatado oficialmente o primeiro estudo sobre esterilização de hambúrguer. Apesar dos trabalhos de pesquisa e das patentes, o uso de

radiações ionizantes não evoluiu devido à baixa potência dos equipamentos de raios X e à pequena atividade das fontes de radiação utilizadas.

A moderna era das pesquisas só começou depois da II Guerra Mundial, quando um número maior de fontes ionizantes se tornou disponível, proporcionando então um processo tecnicamente e comercialmente viável, estimulando o desenvolvimento de uma série de pesquisas sobre suas aplicações e segurança, iniciadas nos Estados Unidos e posteriormente Bélgica, Canadá, França, Holanda, Polônia, Rússia, Alemanha e Inglaterra.

No pós-guerra, o desenvolvimento de reatores nucleares permitiu a obtenção de fontes radioativas de maior intensidade e o desenvolvimento da eletrônica possibilitou a construção de aceleradores de elétrons de grande capacidade. Em 1947, Brasch e Huber publicam os resultados sobre preservação de alimentos *in natura* mediante curtas exposições a elétrons com uma penetração de 12 mm em água.

Mariscos, vegetais, frutas e produtos lácteos são esterilizados e não se observa degradação nestas amostras. Brasch e Huber (1948) publicam novamente resultados sobre a possibilidade de se utilizar condições especiais de irradiação, como por exemplo, em baixas temperaturas para eliminar ou reduzir os efeitos indesejáveis do tratamento sobre as características organolépticas dos alimentos (Tratamento combinado).

No período de 1948–1949 houve a utilização de ^{60}Co e ^{157}Cs , elétrons e raios X para eliminar 22 espécies de bactérias. Em 1949 a empresa Ethicon (J&J) junto com o MIT – *Massachusetts Institute of Technology*, utilizam aceleradores de 2 MeV em escala de laboratório para produtos médicos.

Na década de cinquenta, em 1951, a Comissão de Energia Atômica + MIT + American Meat Science + universidades + institutos de pesquisas + United States Army + United States Navy, iniciam o programa para o desenvolvimento de preservação de alimentos por irradiação. Em 1956 a Ethicon (J&J) utiliza o acelerador de 7 MeV em escala industrial e neste mesmo ano aconteceu o primeiro encontro do comitê internacional sobre irradiação de alimentos. Nos anos de 1957 a 1959 foi registrada a primeira aplicação comercial da irradiação de alimentos na Alemanha. Em 1960 a J&J na Inglaterra utiliza fontes de ^{60}Co em escala industrial, nos EUA os militares celebraram vários outros acordos para o uso da irradiação de alimentos e em 1963, o FDA aprova oficialmente o uso de 45 kGy para irradiação de toucinho enlatado em latas de alumínio (primeiro produto autorizado). Depois foram o trigo e seus derivados, com dose de desinfestação de 0,5 kGy.

No Canadá, em 1965, acontece a irradiação comercial de batatas. Em 1966, a Alemanha tem seu lugar marcado nesta tecnologia pelo acontecimento do I Simpósio de Irradiação de Alimentos, em Karlsruhe, com a participação de vinte e oito países, onde se define os objetivos do processo de irradiação. Alguns anos pós o simpósio, e como consequência das dúvidas sobre a validade do processo, em 1970 foi montado um projeto internacional sobre irradiação de alimentos, que reuniu vinte e quatro países e foi coordenado pela FAO, AIEA e WHO.

Em 1971 se intensifica os encontros internacionais e vinte e três países participam do projeto liderado pela Alemanha, sobre a inocuidade dos alimentos irradiados. O projeto envolve todos os tipos de análise conhecidas na época, além de estudos sobre os efeitos do consumo de alimentos processados por radiação por longo período, sendo realizados testes em animais e em seres humanos voluntários. Em 1978, novos aceleradores construídos pela Radiation Dynamics Inc. (RDI) permitem irradiação em larga escala industrial.

Na década de oitenta, a FAO, IAEA e a OMS lideram os encontros e avaliam os estudos realizados sobre efeitos químicos e toxicológicos dos alimentos irradiados, os resultados obtidos são analisados por um Comitê de Especialistas em Salubridade de Alimentos Irradiados criado pelas FAO/AIEA/WHO (JECFI). O Comitê concluiu que: A irradiação de alimentos até uma dose média de 10 kGy não produz nenhum efeito toxicológico e não introduz problemas nutricionais. Em consequência desse resultado, a Comissão do *Codex Alimentarius* publicou, em 1983, dois documentos: 1. Normas Gerais para Alimentos Irradiados; 2. Recomendações Gerais para Operação de Instalações de Irradiação de Alimentos. Na Conferência de Aceitação, Controle e Comércio de Alimentos Irradiados, juntamente com representantes da FAO, WHO e ITC-UNCTAD/GATT (1988), se chega à conclusão da necessidade de métodos e procedimentos padrões que “poderiam” detectar se o alimento foi irradiado ou não.

As décadas de setenta e oitenta foram mundialmente dedicadas às pesquisas toxicológicas para comprovar a inocuidade dos alimentos irradiados, uma vez que esse era o aspecto mais questionado.

Na década de noventa são aprovados os métodos de detecção de alimentos irradiados pela Comunidade Europeia e a irradiação de alimentos torna-se uma realidade mundial. Em junho de 1994, foi realizada mais uma Conferência mundial com cinquenta e sete delegados de dezenove países, inclusive os representantes oficiais do *Research Program on Analytical Detection Methods for Irradiation Treatment of Foods* (ADMIT), sob os auspí-

cios da OMS e AIEA. O grupo ADMIT não só encorajou o desenvolvimento de testes básicos para irradiação de alimentos como também sua conveniência para uso em saúde pública e outros interessados tais como o comércio nacional e internacional de alimentos irradiados.

Foram ainda reconfirmados nesta reunião, os princípios gerais para o desenvolvimento de métodos de detecção, segundo uma lista de critérios técnicos e práticos:

- Técnicos: discriminação; especificidade; aplicabilidade; estabilidade; confiança; independência; reproduzibilidade e repetibilidade; validade; sensibilidade e dependência da dose.
- Práticos: simplicidade; baixo custo; pequenas amostras; rapidez; abrangência de amostras; medidas não destrutivas; fácil padronização; confiável e seguro.

O Comitê Conjunto de Especialistas em Irradiação de Alimentos com Altas Doses, da FAO/AIEA/WHO, em 1997, após considerar os dados de estudos toxicológicos, nutricionais, microbiológicos e químicos, concluiu que o alimento irradiado nas condições apropriadas para alcançar os objetivos previstos é seguro para consumo e adequado para nutrição, mesmo quando submetido a doses maiores do que 10 kGy. Em 1998 o Brasil participa no grupo de pesquisas da elaboração de protocolos de detecção de alimentos irradiados em Karlsruhe, Alemanha.

Em 2000, foram descritas e descobertas a 2-ACB's (2-alcilciclobutanonas, produto único formado pelo processo de irradiação em alimentos) que revolucionaram o mercado mundial e as normas da comunidade europeia sobre o comércio dos alimentos irradiados.

Vários outros estudos foram direcionados sobre o tema e na atualidade de métodos de detecção estão consolidados e novos estudos relacionados à mutagenicidade e genotoxicidade das 2-alcilciclobutanonas estão sendo revistos e podem trazer mudanças na legislação internacional, no sentido que estas espécies químicas formadas nos alimentos são dose dependentes reafirmando que as doses utilizadas para irradiação de alimentos devem ser baixas e médias, dependendo das características do alimento e a finalidade pretendida do tratamento. Nos dias atuais a irradiação de alimentos volta a ser discutida.

3.2 HISTÓRICO DA IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS NO BRASIL

Desde 1960, estudos se iniciaram com irradiação de alimentos na Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN/RJ), em São Paulo, na USP

a Faculdade de Ciências Farmacêuticas também tem pesquisadores iniciando no tema e na ESALQ-USP a proposta para a criação do Centro Nacional de Energia Nuclear na Agricultura (CNENA) como órgão da ESALQ, a qual foi referendada pela Congregação, em setembro de 1961. Em 1º de agosto de 1962, o CNENA foi oficializado por meio da assinatura de um convênio entre a ESALQ, a Universidade de São Paulo e a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Este centro fica aberto por dois anos e logo após este período é fechado. Retomando a proposta da pesquisa na área nuclear, professores da ESALQ, criam o Centro de Energia Nuclear (CENA) na Agricultura por meio do Decreto Estadual 46.794, publicado em 22 de setembro de 1966, como instituto anexo à ESALQ. Nos anos setentas e oitentas, no Brasil, se inicia estudos de pesquisas com alimentos irradiados e a aplicação segura desta tecnologia. Trabalhos de pesquisas são desenvolvidos em diferentes centros de pesquisas, faculdades, institutos de pesquisas, universidades federais e estaduais de todo país. Em 1990 O Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN-CNEN/SP) inicia ativamente, em conjunto com a Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo (FCF-USP/SP) os estudos e aplicações das radiações em alimentos. Em 1998, no IPEN, se estabelece o grupo de detecção de alimentos irradiados com cooperações internacionais e inclusive com a participação de trabalhos junto à AIEA, culminando com a elaboração da atual legislação ANVISA vigente no Brasil sobre irradiação de alimentos publicada em 2001. Em 2010 um grupo composto por especialistas em irradiação de alimentos, representando o IPEN, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e o Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL) trabalham ativamente junto à Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para a validação e publicação das normas de detecção de alimentos irradiados no Brasil. Entre os anos de 2015 a 2020, estudos se intensificam no sentido de se obter resultados sobre biocompostos naturais em diferentes doses de radiação e matrizes de alimentos, inclusive com a irradiação de flores comestíveis e sua introdução na indústria alimentícia para extensão da vida de prateleira.

Figuras 4 a 6: Preparo de flores comestíveis para irradiação – Pata de vaca branca



Fonte: Acervo da autora

Figuras 7 e 8: Estudos com flores comestíveis irradiadas: pétalas irradiadas a 0,5 kGy, 0,8 kGy e 1,0 kGy



Fonte: Acervo da autora

3.3 INSTALAÇÕES COMERCIAIS NO BRASIL

1973:	Instalação do Irradiador IBRAS – Campinas/SP;
1978	Instalação Irradiador J&J – São José dos Campos/SP;
1978	Instalação Acelerador de Elétrons (RDI) no IPEN/SP;
1978	Instalação de fontes de ^{60}Co no IPEN/SP com finalidade para uso em alimentos;
#1981	Instalação do Irradiador Embrarad – Cotia (tecnologia Nordion);
1999	Instalação do Irradiador CBE–Jarinu (tecnologia nacional);
2003	ACELETRON RJ; com máquinas do tipo LINAC de 18 kW de potência e 10 MeV;
2005	Instalação do Irradiador Multipropósito do IPEN (tecnologia nacional);
2012	Novos conceitos em irradiadores;
2015	Grupo “Sterigenics” se torna monopólio no Brasil com a compra das instalações da EMBRARAD e CBE;
2019	Proposta da utilização de modernos aceleradores de elétrons com saídas de raios X por sua facilidade de manuseio e pela segurança das plantas de irradiação que são elétricas e podem ser facilmente desligadas se algo fora do previsto acontecer;
2019	O caminhão móvel com fontes de irradiação para aplicações na indústria tem seu início de montagem no IPEN (tecnologia nacional).
	E, depois de várias fusões de empresas de irradiação de alimentos, a Sterigenics, companhia Americana, conta com o maior acelerador de partículas (E-BEAN) da América Latina, localizado em cotia e em Jarinu, SP (CBE STERIGENICS, 2015).
	# Vale ressaltar que em 1981 a EMBRARAD foi a empresa pioneira em utilizar a radiação Gama para a esterilização de produtos e/ou redução de carga microbiana em alimentos no Brasil.

Fonte: Elaboração autores.

4 APlicações em Produtos Alimentícios

A aplicação do processamento por radiação em alimentos trás imensa variedade de efeitos benéficos. Dentre os Benefícios técnicos podemos citar a descontaminação microbiana, a desinfestação de insetos, a desinfecção de parasitas, a Inibição do brotamento e o atraso na maturação além de se preservar biocompostos naturais. Podemos ainda citar dentre outros benefícios a modificação das propriedades funcionais tais como a reidratação mais rápida, a redução do tempo de cozimento, maior digestibilidade e viscosidade reduzida. Quase não há elevação

de temperatura, devido a esta característica, os alimentos mantêm as propriedades de um produto não processado (o alimento não é cozido). O alimento pode permanecer congelado ou na forma natural. A radiação penetra através da embalagem e o tratamento deve ser feito no alimento embalado. Não há nenhum risco de recontaminação ou reinfestação, desde que preservada a embalagem. Pode ser muito rápido, não requer manipulação pós-tratamento, é flexível, não contamina o meio ambiente é economicamente viável e visualmente o produto tratado é essencialmente indistinguível do produto não tratado.

4.1 PRODUTOS DE ORIGEM VEGETAL

A maioria das perdas ocorre por uso inadequado de equipamentos, estrutura de armazenamento, sistema viário precário, embalagens inadequadas, pragas e doenças entre outros fatores, que constituem os principais entraves. Desta forma é determinante o uso de Boas Práticas de manejo desde o plantio até a mesa do consumidor. A irradiação de produtos frescos é geralmente limitada a baixas doses, pois dependem diretamente do tipo, da qualidade e de outros aspectos característicos de cada produto. No transporte internacional de produtos agrícolas, os insetos podem contaminar uma determinada carga. Esta pode ser uma porta de entrada de pragas que antes não existiam ou já foram extintas em diversos países. Esta nova contaminação pode ocasionar muitas perdas. Por este motivo, na falta de outras alternativas saudáveis e eficientes, foram aplicados por muito tempo inseticidas químicos, hoje proibidos por serem agressivos e prejudiciais à saúde pública além de mutagênicos.

4.2 FRUTAS E VEGETAIS FRESCOS

A relevância da fruticultura no comércio nacional e econômico-social no Brasil das frutas tropicais é devido às suas propriedades nutricionais e funcionais, o que reforça a importância dos estudos sobre determinação e quantificação de compostos bioativos e antioxidantes presentes nos alimentos após o processo de irradiação com doses fitossanitárias. Potencialmente as frutas e vegetais que mais aceitam o processo de irradiação já são conhecidos. O mercado internacional comercializa principalmente o mamão papaia, manga de diferentes variedades, melão, morango, acerola, goiaba e em países tropicais uma gama de frutas tropicais bem conhecidas aqui no Brasil e no mundo. Nossos dados de exportação de frutas estão sempre atualizados e podem ser consultados no site da EMBRAPA e do MAPA.

A fruticultura brasileira, com uma produção maior de quarenta e milhões de toneladas anuais, em áreas plantadas acima de 2,2 milhões ha, responde pela terceira maior produção de frutas frescas do mundo, sendo superado apenas pela China e Índia. A pauta de produção nacional, caracterizada pela extensão e diversidade, é uma das mais complexas e inclui frutas de clima temperado, tropical e subtropical, além das chamadas exóticas, como a graviola, cupuaçu, açaí, seriguela, pitomba, sapoti, dentre tantas outras espécies. Em razão do intenso aprimoramento das técnicas de processamento de alimentos, que vem sendo introduzida desde a década de oitenta, sobretudo em pré e pós-colheita, a fruticultura brasileira, hoje, é capaz de ofertar frutas, ao longo das quatro estações do ano, a exemplo da laranja, manga, uva, banana, inclusive, maçã. Para bananas se verifica perdas de até 40 % dependendo das condições de colheita e armazenamento, abacaxi, de 30 %, Manga 20 %, Limão 15 %, mamão 40 %, Melão 20 %.

4.3 NOZES, FRUTAS E VEGETAIS SECOS

Alimentos irradiados são comercializados por mais de sessenta países em caráter regular, junto com seus similares não irradiados, e tem tido, de modo geral, boa aceitação. Este processo em alimentos já vem sendo aplicado no mercado de frutas em outros países sempre visando melhorias na cadeia produtiva por meio do aumento da vida de prateleira e qualidade de frutas, o que permite alcançar novos consumidores e maior confiança na qualidade do produto. Perdas no setor agrícola são bem conhecidas e em alguns casos, 30 % da produção bruta, o que determina a adoção de boas práticas no campo e a adoção de tecnologias modernas de colheitas, conservação, processamento e distribuição, para se obter significativo aumento na oferta de alimentos. Como alternativa saudável frente ao uso de brometo de metila para o controle da infestação por insetos, o uso da radiação tem sido até a presente data uma tecnologia apropriada no comércio de produtos agrícolas processados. No que se refere aos alimentos ainda no campo, antes da colheita, pouco esta tecnologia pode acrescentar pois depende de máquinas especiais e de grande porte. A infestação por insetos também pode ser combatida, utilizando o processamento por radiação em doses fitossanitárias. É outra aplicação intensa desta tecnologia que os países utilizam para o comércio internacional de controle de pragas na agricultura e em pragas nas embalagens para exportação e importação. É importante ter em mente que alimentos que contenham maior quantidade de lipídios, como as nozes entre outros, não se aplique doses acima de 10 kGy como recomendações internacionais de irradiação de alimentos sob o contexto nutricional e alterações nas suas características organolépticas.

4.4 ESPECIARIAS, GRÃOS E PRODUTOS DE GRÃOS

As especiarias são conhecidas por sua contaminação microbiológica durante o comércio devido a sua origem muito diversificada e nem sempre com o uso de boas práticas de manuseio. Os grãos e seus produtos embalados são importantes fontes proteicas para a população tanto no Brasil como em outros países. Entretanto, ocorrem altas perdas a cada colheita por infestação de insetos durante o armazenamento (arroz: perda de 20 %, feijão: 30 %, soja 10 %). Para combater estas perdas, o processamento por radiação de grãos é uma alternativa atraente e saudável, comparado a tratamentos químicos convencionais.

Na década de sessenta, setenta e oitenta, pesquisadores do agro-negócio já estimavam uma perda de peso de 20 % nos grãos infectados por insetos, estes grãos têm a redução do poder germinativo, a redução no valor nutritivo e a consequente desvalorização comercial de alimentos infestados. No Brasil altas taxas de perdas pós-colheita, eram observadas devido ao mal armazenamento e das condições de colheita sem o uso de boas práticas na agricultura. Nos últimos anos, o Brasil entra na modernidade e concorre com grandes exportadores, diminuindo suas perdas e melhorando sua qualidade de armazenamento de produtos agrícolas, inserindo as boas práticas desde o plantio até a colheita.

5 PRODUTOS DE ORIGEM ANIMAL

A redução de microrganismos em alimentos é sempre um dos objetivos, além de se aumentar a vida de prateleira, contribuir para a segurança do alimento e garantir a sanidade. A irradiação de alimentos pode contribuir para uma melhor qualidade nutricional dos produtos processados.

5.1 CARNES EM GERAL

Uma das maiores aplicações deste processo é a redução de carga microbiana e de parasitas, que podem causar grandes surtos de doenças transmitidas por alimentos nos mais diversos tipos de carnes processadas (frango, codorna, faisão, camarão, pescados em geral e pernas de rã, entre outras). A irradiação de alimentos traz ao público consumidor, saúde, segurança e qualidade em alimentos e produtos cárneos embalados adequadamente. O processamento por radiação é muito efetivo. As doses de radiação são baixas e calculadas efetivamente para serem seguras com relação à saúde pública dos consumidores e atingir as necessidades requeridas. O processo de irradiação pode ser aplicado a uma vasta demanda de alimentos processados, tais como carnes suína, bovina, equina entre

outras; frutos do mar e aves em geral, todos, ressaltamos adequadamente embalados. As doenças parasitárias de origem alimentar são problemas de saúde pública mundial que afetam milhões de pessoas, causando enorme sofrimento. Alguns exemplos são: *difilobotriase* (nematódeo presente em peixes), *gnathostomiasis* (em peixes de água doce), espécies de *anisakiosis* (em alguns peixes, como o arenque e o bacalhau). Além das enfermidades causadas por microrganismos, os peixes e mariscos são também suscetíveis a resíduos de produtos químicos nas águas contaminadas ou poluídas dos estuários e das bacias pesqueiras.

5.2 OVOS E PRODUTOS LÁCTEOS

Muitos estudos foram desenvolvidos no sentido de se conhecer os organismos patogênicos em ovos e produtos lácteos. No caso de ovos, o maior problema é a *Salmonella*, e o produto a ser irradiado é o ovo em pó para a indústria de alimentos. Para a indústria de produtos derivados de leite, as doses de radiação devem ser baixas também pois podem causar em determinadas condições de irradiação trocas no sabor, odor e na cor, devido ao alto teor de gorduras nestes alimentos. O principal patógeno encontrado é a *Listeria monocytogenes*, embora possam estar presentes outros patógenos se o produto estiver de alguma forma sem rígidos controles de boas práticas de manuseio.

6 ELEMENTOS NATURAIS ENCONTRADOS NOS ALIMENTOS

Elementos radioativos naturais são encontrados em todos os alimentos, inevitáveis em nossa dieta diária, tais como isótopos primários de potássio (^{40}K), carbono (^{14}C) e hidrogênio (^{3}H). Traços de constituintes naturais como radio (^{226}Ra), tório (^{228}Th), Chumbo (^{210}Pb) e polônio (^{210}Po) estão presentes na maioria dos alimentos naturalmente, não causando nenhum fator adverso no seu consumo, visto que há o grupo de naturalistas e veganos que só se alimentam de alimentos naturais e que contém estes isótopos. Os alimentos consumidos por um adulto em um dia, contém cerca de 150 – 200 Bq (Becquerel) de radioatividade natural,

6.1 IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS

6.2.1 ENTENDENDO O PROCESSO

Para entender o processo de irradiação é necessário conhecer alguns conceitos básicos de física. Na Física, a radiação é um modo de propagação da energia através do espaço de forma análoga ao da luz. Quando se

fala de radiação no processamento de alimentos, estamos nos referindo à radiação ionizante. Não é possível falar sobre radiação sem antes saber como se comporta o nível mais elementar da matéria, que é o átomo. A radiação ionizante se produz no interior dos átomos. Formada por partículas e ondas de alta energia que provocam alterações nas propriedades químicas e biológicas da matéria.

6.2 PROCESSOS FÍSICOS

Radiações ionizantes são radiações de alta energia que deslocam os elétrons dos átomos e moléculas, convertendo-os em partículas eletricamente carregadas, chamadas íons. Sua energia é superior à energia de ligação dos elétrons de um átomo (energia suficiente para arrancar elétrons de seus orbitais). Os íons são átomos ou moléculas que se tornam eletricamente carregados pelo ganho ou perda de elétrons. Interações químicas induzidas pelas radiações podem ser manifestadas por alterações das propriedades físicas dos alimentos, um dos efeitos mais comuns são os danos causados na membrana celular pela radiação ionizante.

6.3 PROCESSOS QUÍMICOS

6.3.1 FORMAÇÃO DE RADICAIS LIVRES

Os radicais livres podem se formar não somente durante o processo de irradiação, mas também mediante vários outros tratamentos convencionais de alimentos, tais como a liofilização, torrefação, fervura, processos normais de oxidação, entre outros. Quando a célula é bombardeada por radiação ionizante, vários de seus componentes químicos podem ser atingidos com a consequente ionização que os torna quimicamente muito reativos e, daí por díante, vários fenômenos químicos e posteriormente biológicos podem ocorrer.

Os produtos da radiólise da água são:

- OH^\cdot – Radical hidroxila; e_{aq}^- – Elétron aquoso ou hidratado; H^\cdot – Átomo de hidrogênio; H_2 – Hidrogênio; H_2O_2 – Peróxido de hidrogênio; H_{aq}^+ – Próton hidratado;
- Enquanto OH^\cdot ; e_{aq}^- e H^\cdot são espécies reativas transitórias, H_2 e H_2O_2 são os únicos produtos da radiólise da água estáveis.

Sabe-se que boa parte dos danos causados a uma célula pela radiação ionizante ocorre pela ação indireta da radiação. Isto se deve ao fato de que a maioria das células vivas apresenta em média 80 % de água em sua composição. Mesmo produtos aparentemente secos contêm água, como farinha de trigo (13 %), vegetais desidratados (10 %), nozes (5 %) entre outros.

Em frutas, por exemplo, onde 90 % é água, a dose de radiação estipulada/recomendada é bem baixa (até 1 kGy) com o objetivo de não afetar de forma significativa os biocompostos naturais durante a irradiação nas doses utilizadas para tratamentos fitossanitários.

Quando a radiação age de forma direta no material biológico, ocorre a excitação ou ionização de moléculas do ácido nucleico e a partir daí serão conduzidas mudanças biológicas que podem levar a morte celular. O alvo crucial dos radicais livres é o DNA (ou genoma), promovendo desta forma sua quebra principalmente em ovos/pupas/larvas de insetos que possam estar na superfície do produto alimentício induzindo a inativação dos insetos.

6.3.2 APLICAÇÕES DE DOSES DE RADIAÇÃO EM ALIMENTOS

Na década de noventa, o uso do processamento por radiação utilizando baixas doses com a finalidade de inibir o brotamento, aumentar a vida de prateleira, eliminar insetos e parasitas e também de incrementar as propriedades tecnológicas de farinhas e outros produtos alimentícios, foi preconizado devido aos estudos já desenvolvidos em épocas anteriores que indicavam que o uso de doses baixas de radiação com a finalidade de desinfestação de insetos, poderia eliminar o uso dos tratamentos que produziam danos toxicológicos por defensivos agrícolas. Na década de oitenta a FAO publicou o *Manual das Boas Práticas (Good Manufacturing Practices – GMP)*, que é adotado e recomendado pela OMS para se irradiar alimentos, dentro dos parâmetros de manipulação, embalagem e armazenamento que estejam dentro das condições de higiene e necessidades técnicas. Diversos trabalhos científicos também corroboram com estas diretrizes que se utilizam dentro de faixas recomendadas/utilizadas por diversos países nas diferentes aplicações do processamento por radiação nos alimentos. Adaptamos como sugestão no quadro 1 uma compilação de alguns exemplos mais conhecidos para representar os grupos de alimentos com intervalos de doses que podem estar dentro da geometria da amostra e que o alimento receberá entre um mínimo e o máximo. Nossa legislação não adota estipular doses, mas outras legislações sugerem estes intervalos, inclusive sugestões do *Food and Drug Administration (FDA)*, autoridade máxima em normas sobre alimentos entre outros nos Estados Unidos da América.

Quadro 1: Aplicações da radiação em produtos alimentícios

Propósito		Dose (kGy)	Produtos
Doses Baixas (até 1 kGy)			
a)	Inibição de brotamento: Permite tempo de estocagem maior, sem o uso de inibidores químicos de brotamento.	0.25 – 0.99 Não exceder 1 kGy	Batatas, cebolas, alho, gengibre, inhame entre outros.
b)	Desinfestação de insetos: preventivo contra perda de alimentos sem o uso de fumigantes químicos; preventivo contra insetos no mercado de alimentos; permitido no tratamento quarentenário sem o uso de fumegantes químicos.	0.30 – 1	Cereais, feijões, frutas frescas e secas.
c)	Desinfestação de parasitas: Reduzindo enfermidades causadas por consumo de produtos crus ou mal cozidos infectados, como por exemplo: <i>Trichinella spiralis</i> , <i>Taenia SP</i> , <i>Entamoeba Histolytica</i> , <i>Toxoplasma gondii</i> .	0,30 -1	Peixes seco, carnes seca, peixes crus, carne/carcáça de porco fresca.
d)	Retardo do Processo Fisiológico: Maturação, permitindo maior tempo de prateleira	0.70 – 1	Frutas frescas e vegetais
Doses Médias (1 a 10 kGy)			
a)	Extensão da vida de prateleira: Redução de micro-organismos	2.5 – 4.5 Não exceder	Peixe fresco, morangos
b)	Eliminação de micro-organismos patogênicos: Para controle de carnes frescas, refrigeradas ou congeladas em geral <i>Salmonella</i> , <i>Shigella</i> , <i>Listeria</i> , <i>Campylobacter</i> , <i>Vibrio</i> , <i>E. coli</i> , <i>Yersinia</i> , e outros patógenos não formadores de esporos.	4.5 – 7.0 Não exceder 4.5 kGy (produto refrigerado); Não exceder 7.0 kGy (produto congelado).	Frutos do mar, carnes de aves, carnes vermelhas, produtos de ovos, queijo Camembert.
c)	Melhoramento das propriedades tecnológicas	2.5 – 7.0	Uvas: aumento da produção de suco; frutas desidratadas: reidratação; Vegetais desidratados: tempo de cocção.
d)	Eliminação de esporos: Fungos, permitindo maior tempo de prateleira. (no processo, combinação com atividade de agua menor que 0.85)	7.0 – 10 Não exceder 6.0 kGy	Ervas e especiarias secas, condimentos, vegetais desidratados (embalados)
Doses Altas (acima de 10 kGy)*			
a)	Descontaminação de aditivos e ingredientes alimentícios: Permitindo maior tempo de prateleira, substituindo fumegantes químicos.	10 ou mais (Recomendado não exceder a 30 kGy)	Ervas e especiarias, condimentos, preparados de enzimas, gomas naturais (<i>in natura</i>).
	Esterilização industrial: (combinação com calor suave)		carne, aves, frutos do mar, salsichas, comida espacial

Fonte: Acervo da autora.

* somente em casos especiais, tais como dietas hospitalares ou refeições de astronautas.

Países desenvolvidos exigem alimentos sadios com uma prolongada vida de prateleira. Todo alimento processado ou não processado deve ser preservado por uma embalagem que, além da função protetora, pode ter funções de propaganda e facilitar seu manuseio no processamento, armazenamento e uso pelo consumidor. A natureza do material da embalagem deve, principalmente, atender a critérios de preservação e apresentação do produto. Estando os alimentos apropriadamente embalados, após seguir uma apropriada conduta no processamento, o tratamento por radiação irá preservar a boa qualidade por estar agindo no processo de redução de carga microbiana, em alguns casos esterilização e desinfestação de insetos, conforme o caso requerido e o tipo do alimento. Numa irradiação, onde não houver uma correta embalagem do produto, haverá uma reincidência de infestação e o processo se tornará inútil. O material utilizado não deve interagir com os aditivos e/ou o produto embalado ou mesmo ser permeável, a resistência à radiação de vários materiais deve ser testada, porém atualmente com doses limites de até 10 kGy para papel e papelão e 60 kGy para material polimérico, é permitida pelo FDA para embalagens a serem irradiadas. Trabalhos científicos relacionando o processo de irradiação sobre vírus em alimentos mostram que para a poliomielite, a hepatite A e o rotavírus em ostras são inativados com valores de D₁₀ de 2,94, 2,0 e 2,4 kGy, respectivamente; as doses variam de 2 a 10 kGy para carnes peixes e moluscos. Para a doença de Newcastle em ovo, é 2 kGy. Influenza aviária de baixa patogenicidade é inativada com valores de D₁₀ de 1,6 kGy em clara de ovo e 2,6 kGy em peru moído. O FDA, publica no 21CFR179.26, revisado em 2019, a tabela 7, com as doses aprovadas e os limites máximos sugeridos para irradiação de alimentos. Alguns vírus são reduzidos em apenas 2-3 logs em carnes e mariscos. É necessária uma dose de 3 kGy para obter uma redução de 1 log do vírus da hepatite A em alface ou morangos. Em dados compilados de artigos científicos sobre vírus em alimentos, publicados em 2010, pela D.^{ra} M. Ellin Doyle sobre diversos tipos de tratamentos de alimentos, inclusive por radiação, também para os diferentes vírus e o tipo de alimento. Existem relatos sobre a inativação de vírus por irradiação. Embora doses relativamente baixas de radiação possam inativar vírus suspensos em tampão, proteínas e outros compostos orgânicos nos alimentos se ligam nos radicais gerados pela irradiação e reduzem seus efeitos antivirais. Mais estudos devem ser feitos. Em alguns casos, são necessárias doses muito altas de radiação. Há um vírus, que é o menor vírus animal atualmente conhecido, e que é extremamente resistente à irradiação gama de 45 kGy que causa apenas uma redução de 1

log. A irradiação a 40 kGy foi recomendada para destruir a infectividade do vírus da febre aftosa seca sobre uma superfície de vidro. Limites máximos aprovados para irradiação de alimentos nos EUA podem ser encontrados no 21CFR179.26, 2019 entre outras informações.

7 NORMAS, DECRETOS, REGULAMENTAÇÕES PARA IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS

A Comissão do *Código Alimentarius*, FAO e OMS, publicou suas normas aplicáveis à irradiação de alimentos. Estas normas estipulam que os alimentos irradiados devem ser acompanhados de documentos de embarque, nos quais devem estar identificados o irradiador, o lote, a dose e outros detalhes do tratamento conforme descrito na Norma Geral do Código para alimentos irradiados e do código internacional recomendado de práticas para o funcionamento de instalações de irradiação para o tratamento de alimentos, o *Código Alimentarius* (1984, v. 15). Os alimentos que foram tratados por irradiação devem estar corretamente embalados e etiquetados para indicar que, a este produto, foi aplicado este processo. Devem ser utilizados os termos “irradiado” ou “tratado por radiação ionizante”, assim como estar presente o símbolo internacional para alimento irradiado.

Figura 9: Radura – símbolo internacionalmente utilizado para identificação de alimentos irradiados



Fonte: Acervo da autora

Na década de oitenta, o comércio mundial de produtos irradiados era estimado em mais de dois bilhões de dólares por ano, e continuava crescendo a uma taxa anual de 15 a 20 %. Em 1995 trabalhos sobre a comercialização dos alimentos irradiados nos Estados Unidos da América mostram como se desenvolveram as leis e permissões para irradiação, plantas de irradiadores, como se processam as vendas destes produtos nos supermercados, o controle de doenças transmitidas por alimentos e a aceitação pelos consumidores. Estudos sobre a viabilidade econômica da irradiação de alimentos concluíam que esta dependia de vários fatores tais como da variedade do produto alimentício a ser irradiado, dose aplicada, efeito desejado, densidade da embalagem, mão de obra especializada, suporte técnico e comercial, local de depósito, além de outros itens. Nas últimas décadas, o processamento por radiação se torna uma realidade devido sua eficácia e segurança. Muitos países comercializam seus produtos com uma margem de armazenamento maior e seus efeitos produzidos comercializados estão dentro de uma ampla faixa de aceitação pelos consumidores e pelas autoridades governamentais de controle de segurança dos alimentos.

7.1 LEGISLAÇÃO NO BRASIL

No Brasil, a irradiação de alimentos aumenta no final da década de 1960. O Decreto-Lei n.º 986, de 21 de outubro de 1969, instituiu normas básicas de alimentação. O Decreto n.º 72.718, de 29 de agosto de 1973, estabeleceu normas gerais sobre a irradiação de alimentos e parâmetros sobre armazenamento, transporte, distribuição, importação, exportação e comercialização para o consumo de alimentos irradiados. Em 8 de março de 1985, a Portaria n.º 9 da Divisão de Vigilância Sanitária de Alimentos, do Ministério da Saúde (DINAL) com Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e o Instituto Nacional de Controle de Alimentos e Qualidade em Saúde (INCQS). A Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ) estabeleceu regras gerais para a irradiação de alimentos no Brasil, indicando para cada caso, o tipo, a dose e a dose média de energia de radiação e o tratamento anterior associado ou posteriormente. Em 25 de setembro de 1989, é publicada a portaria DINAL n.º 30, desta vez, ampliando a autorização para outros tipos de alimentos que não foram incluídos na portaria anterior. A legislação brasileira vigente, aprova o uso de radiação ionizante através da RDC n.º 21, em 26 de janeiro de 2001, desde que seja para fins sanitários, fitossanitários e/ou tecnológicos. A dose mínima absorvida deve ser suficiente para atingir o obje-

tivo pretendido e a dose máxima deve ser menor que a dose que compromete as propriedades funcionais ou a comida de qualquer atributo sensorial. Afirma ainda que, na rotulagem de alimentos irradiados, além das palavras exigidas para os alimentos em geral e específicas dos alimentos, deve constar na embalagem: "alimentos tratados por processo de radiação", em letras de tamanho não inferior a um terço da maior letra da rotulagem. Quando um produto irradiado é usado como ingrediente em outro alimento, ele deve declarar essa circunstância na lista de ingredientes, entre parênteses, após o nome do ingrediente. Nesta legislação, são revogadas a Portaria DINAL n.º 9, de 8 de março de 1985, e a Portaria DINAL n.º 30, de 25 de setembro de 1989. Comparada com a legislação de outros países, a legislação brasileira atualmente deixa espaço para a falta de orientação ou interpretação quando consultada por profissionais do setor e produtores de alimentos sobre quais doses e alimentos devem ser aplicados à radiação como tratamento.

Além disso, a rotulagem tem uma menção especial, pois muitas vezes não é bem compreendida pelo consumidor porque está escrita em letras e cores que camuflam essa descrição. No Brasil, o símbolo radura não é obrigatório. Na legislação vigente, não há referência a uma multa/punição se o produto for irradiado e não estiver corretamente identificado com rotulagem visível e adequada e como evitar fraudes (dizendo que o alimento foi irradiado e, de fato, não foi processado por radiação, como provar isso?). No momento, não há controle desse processo por órgãos governamentais para a inspeção relacionada à segurança de alimentos irradiados, nem a ANVISA, que preparou esta RDC n.º 21, consegue certificar a veracidade da aplicação do processo de irradiação em alimentos e produtos agrícolas ou mesmo determinar se os alimentos foram irradiados e qual dose aproximadamente. Atualmente, existe uma necessidade no Brasil de se aplicar a tecnologia de detecção de alimentos irradiados para apoiar a rotulagem e a segurança dos alimentos e evitar fraudes em termos do tipo de processamento por órgãos governamentais que controlam a legislação sobre irradiação de alimentos.

Sobre Diretrizes da Norma Internacional para Medidas Fitossanitárias (NIMF) n.º 18, é publicada como orientação técnica para o uso da irradiação com propósitos fitossanitários, objetivando prevenir a introdução e a disseminação de pragas quarentenárias regulamentadas no território brasileiro. Decreto n.º 9.013, de 29 de março de 2017 Regulamenta a Lei n.º 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a Lei n.º 7.889, de 23 de novembro de 1989, que dispõem sobre a inspeção industrial e

sanitária de produtos de origem animal. Com finalidade de Tratamentos Quarentenários, a IN 66, de 27 de novembro de 2006 é publicada. A Instrução Normativa n.º 9, de 2011, do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) reconhece o uso da radiação ionizante como tratamento fitossanitário cujo objetivo é impedir a introdução ou propagação de pragas no território brasileiro. Atualmente está em trâmite o tratado bilateral, um documento entre o MAPA e o APHYS/USDA que indica as regulamentações e a política dos Estados Unidos e o Brasil para permitir o uso da irradiação como medida fitossanitária dos produtos básicos importados. O Departamento de Sanidade Vegetal (DSV) do MAPA, como Organização Nacional de Proteção Fitossanitária (ONPF) do Brasil, é o órgão responsável por elaborar as diretrizes de ação governamental para a sanidade vegetal. Frequentemente realiza reunião bilateral com o Serviço de Inspeção de Saúde Animal e Vegetal do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (APHIS/USDA). Nos últimos anos o tratamento fitossanitário com fins quarentenários utilizando radiação, com dose genérica de 400 Gy sob regime de equivalência (*Framework Equivalency Work Plan – FEWP*), foi novamente proposto pelo APHIS para uso no comércio bilateral de *commodities* agrícolas entre os dois países. Na atualidade, maior atenção se tem dado neste campo e muito se tem discutido para a aplicação desta tecnologia por indústrias de exportação da área de alimentos.

7.2 CONTROLE DO PROCESSAMENTO

Alimentos irradiados, sempre estiveram presentes em diversos países. Para controlar esse tipo de processamento, é aconselhável, não sómente confiar no controle administrativo dos irradiadores licenciados e nos certificados de alimentos processados por radiação, mas também empregar métodos que permitem detectar o tratamento por irradiação diretamente no alimento. Desta forma em dezembro de 1988, representantes de cerca de sessenta países se reuniram em Genebra, na conferência de aceitação, controle e comércio de alimentos irradiados, juntamente com representantes da FAO, OMS, IAEA entre outros, e concluíram pela necessidade de métodos e procedimentos padrões que poderiam detectar no próprio alimento se este foi ou não processado por radiação.

Para evitar fraudes, e ampliar a credibilidade do consumidor no processamento por radiação em alimentos, existem métodos disponíveis de identificação de alimentos processados por radiação que são amplamente utilizados em vários países e principalmente na Europa, incluindo padrões internacio-

nais: EN 1784 (CG/MS- Hidrocarbonetos); EN 1785 (CG/MS/MS – 2-ACB); EN 1786 (EPR – ossos); EN 1787 (RPE – celulose) e EN 1788 (TL – minerais de sílica).

O Brasil conta com a tradução destas normas internacionais, para uso no Brasil, feitas pela ABNT, e em diversas eventos com projetos e apoio da AIEA. Enfatizamos que temos todas essas pesquisas prontas para serem usadas por agências governamentais para controlar esse processo. Segundo pesquisas publicadas em testes com consumidores, é através da garantia de segurança que o processo foi efetivamente realizado nos alimentos pelos órgãos governamentais para que a população se torne muito mais informada e receptora do processo de radiação ionizante, gerando maior credibilidade junto ao consumidor.

7.3 MÉTODOS PARA DETECÇÃO DE ALIMENTOS IRRADIADOS

A disponibilidade geral dos métodos de detecção de alimentos irradiados pode contribuir para aumentar a confiança do consumidor com o uso correto da aplicação deste processo, e em seu controle pelas autoridades competentes. Embora se faça o controle administrativo de irradiadores comerciais para alimentos irradiados e sejam emitidos certificados de alimentos irradiados como controle ao final de cada processo, é conveniente aplicar métodos para detectar o tratamento por irradiação diretamente no produto alimentício.

Os parâmetros que esta metodologia deve ter como requisito é:

A resposta do método deve ser específica para irradiação e não induzida por outras técnicas de processamento; confiabilidade; rapidez; não envolver o uso de instrumentos complicados e caros; de fácil execução; deve requerer pequenas quantidades de amostras do alimento; sensibilidade; universalmente aplicável a todas as espécies de alimentos; deverá permitir uma estimativa da dose de radiação absorvida no alimento; o método deverá permitir uma identificação de ingredientes irradiados em alimentos compostos (Delincèe, 1998).

A interação da radiação ionizante com o alimento induz a formação de radicais livres, os quais são muito reativos principalmente com as múltiplas reações possíveis nos componentes do alimento. Não é de se surpreender que as alterações químicas causadas pela irradiação são muito menores que as causadas por outros métodos de processamento dos alimentos. Os métodos de detecção de alimentos irradiados aqui apresentados vão depender de diferentes fatores intrínsecos, dependendo da origem do alimento. Estudos interlaboratoriais são muito importantes neste tipo de pesquisa.

7.4 MÉTODOS ESPECÍFICOS

Os métodos são ordenados de acordo com as alterações que ocorrem nos alimentos, como resultado da irradiação, tais como físicas, químicas e biológicas.

Cooperações internacionais têm levado a um grande desenvolvimento dos métodos de detecção de alimentos irradiados. Esses métodos padrão estão publicados no European Committee of Standardization (CEN) e são aprovados pela comunidade europeia (CEN/TC 275/WG. 8 N).

A combinação de vários métodos de detecção de alimentos irradiados em lugar de um só é mais eficaz. Assim sendo, diferentes centros de pesquisa sugerem que sejam utilizados diferentes testes no alimento a ser analisado.

EN 1784 (CG/MS) - Método de Análise por cromatografia gasosa dos hidrocarbonetos - Detecção de alimentos irradiados contendo gorduras;

EN 1785 (2-ACB) - Método de Análise por cromatografia gasosa/espectrometria de massa das 2-alcilciclobutanonas - Detecção de alimentos irradiados contendo gorduras;

EN 1786 (RPE Ossos) - Método de Ressonância paramagnética eletrônica - Detecção de alimentos irradiados contendo ossos;

EN 1787 (RPE celulose) - Método de Ressonância paramagnética eletrônica - Detecção de alimentos irradiados contendo celulose;

EN 1788 (TL) - Método de Termoluminescência - Detecção de alimentos irradiados dos quais se pode isolar minerais de sílica;

EN 13708(RPE açucar)-Método para alimentos irradiados contendo açúcar cristalino;

EN 13751 (PSL) - Método de Termoluminescência de contagens rápidas;

EN 13783 (DEFT-APC) - Método de varredura Microbiologica;

EN 13784 (DNA comet) - Método rápido para análise de DNA em alimentos.

Metodologias direcionadas ao tema da irradiação de alimentos, seja ela de detecção ou sobre qualidade nutricional do alimento processado por irradiação está a cada ano, superando com tecnologia inovadora mais avançada, agilizando os conhecimentos e disponibilizando aos laboratórios credenciados informações precisas sobre os efeitos da radiação nos alimentos. Pela revisão bibliográfica aqui compilada e apresentada, entendemos que existe um volume considerável de publicações relativas à segurança do processo de irradiação de alimentos.

■ CONSIDERAÇÕES FINAIS

Temos conhecimento que o processamento por radiação é utilizado com sucesso para inibição de brotamento, redução de carga microbiana, eliminação de insetos e parasitas além de aumentar o tempo de armazenamento dos alimentos entre outros benefícios. Devemos ter sempre em mente que altas doses de irradiação não são aconselháveis e que o processo de irradiação, como qualquer outro processo em alimentos, não serve para tratar indiscriminadamente todos os alimentos. Alguns alimentos, por sua constituição e componentes, ou mesmo alguns vegetais, não respondem adequadamente a este processo. É muito importante saber o que vai ser irradiado, como será esta irradiação, a composição do alimento/produto e se estes aguentam ou não o processo e se podem haver outros tratamentos combinados durante a irradiação. A irradiação de alimentos é uma das poucas tecnologias alimentares capazes de manter a qualidade dos alimentos e resolver os problemas de segurança e proteção sem afetar significativamente suas características organolépticas ou nutricionais, sempre que observadas as boas práticas de manuseio em conjunto. O tratamento não eleva a temperatura do alimento; não deixa resíduos nocivos e pode ser aplicado em alimentos embalados, o que limita as possibilidades de infestação ou a recontaminação. Enfatizamos que a rotulagem criada no sentido de indicar o processo seguro ao qual o alimento foi submetido e dar a escolha ao consumidor final de compra deste produto. Muitas vezes a contaminação por vírus agressivos aos humanos, não vem do próprio animal, mas sim da contaminação durante a produção e a falta das práticas de segurança do alimento. Desta forma se garante uma boa aplicação do processamento por radiação e aconselhamos sempre ter um especialista da área de irradiação/ciência dos alimentos, informado no tema para dar suporte à indústria de alimentos entre outros usuários da agricultura.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Irradiação de Alimentos** <http://portal.anvisa.gov.br>.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Codex Alimentarius Commission. General Standard for Irradiated Foods. **Codex alimentarius**, Rome, v. 15, 1984.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Codex Alimentarius Commission. 2003. General Standard for Irradiated Foods. **Codex Stan**, 106–1983, rev. 1, 2003.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Codex Alimentarius Commission. Food labelling. **Codex alimentarius**, Rome, 2007. 5. ed.

DELINÇÈE, H. Detection of food treated with ionizing radiation. **Trends in Food Science & Technology**, [s.l.], v. 9, n. 2, p. 73–82, 1998.

DIRECTIVE 1999/2/EC of the **European Parliament and of the Council**. (**13.3.1999**). Approximation of the laws of the Member States concerning foods and food ingredients treated with ionizing radiation. OJ L 66.

DIRECTIVE 1999/3/EC of the **European Parliament and of the Council**. (**22.02.1999**). Establishment of a Community list of foods and food ingredients treated with ionising radiation. OJ L 66/24.

EUROPEAN COMMISSION. **Report from the Commission to the European parliament and the council on food and food ingredients treated with ionising radiation for the year 2011**. Brussels, 2012.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Radiation safety of gamma, electron and X ray irradiation facilities. **Specific Safety Guide**, n. 8, Vienna, 2010.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 14.470**: Food irradiation: requirements for the development, validation and routine control of the process of irradiation using ionizing radiation for the treatment of food. [S.l.: s.n.], 2011. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/44074.html>. Acesso em: 25 ago. 2023.

ROBERTS, P. B. Food irradiation: Standards, regulations and world-wide trade. Radiation **Physics and Chemistry**, [s.l.], n. 129. p. 30–34, 2016.

UNITED STATES. Food and Drug Administration (FDA). **Code of Federal Regulations (CFR)**. [S.l.: s.n.], 2019. Title 21, v. 3.

PARTE 3



PARTE 3 COLETÂNEAS

A aplicação da radiação ionizante, com o propósito de preservar e desinfestar grãos, surge como uma prática promissora, utilizada para estender a vida de prateleira e reduzir as perdas das safras durante a armazenagem do produto.

A presente coletânea traz ao leitor pesquisas inovadoras sobre irradiação de alimentos em produtos agrícolas, sementes, frutas, farinhas, resíduos e flores comestíveis. Estas são algumas das pesquisas desenvolvidas no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares.



APLICAÇÕES

PESQUISAS INOVADORAS NO IPEN

Irradiação de Sementes

Daili de Andrade dos Santos Barreira¹

Para entender a conexão entre a tecnologia nuclear e as sementes guarde essa informação: *A partir da semente, é possível determinar todas as características genéticas de uma espécie!*

O que é exatamente uma semente? Para o *Dicionário Brasileiro Botânico* (2010): semente “é a parte reprodutora dos vegetais superiores que produzem flores e resulta da fecundação, do desenvolvimento e do amadurecimento do óvulo. Compreende em geral três partes: tegumento, tecido nutritivo e embrião. Em sentido amplo, semente é toda estrutura que serve para reproduzir um vegetal”.

Uma semente é o resultado de um processo de fecundação entre os gametas femininos e masculinos. Dentro dela, está o genoma, o material genético que mais tarde vai dar origem à uma planta. Por isso, a semente é considerada o estágio inicial das espécies.

O poeta definiria como: *A semente é uma estratégia de vida para a vida!*

A semente possibilitou desenvolver diferentes cultivos de plantas específicas para diferentes continentes, povos e climas ao redor do mundo, por isso é correto afirmar que a semente é o elo entre o plantio e a humanidade, sendo essencial desde os tempos pré-históricos. Geradora de alimentos, ela se tornou crucial para a evolução dos seres humanos, pois através do conhecimento e manipulação das diferentes sementes foi possível fazer a domesticação de plantas, exercer o ofício da agricultura o que permitiu ao Homem produzir alimentos e se fixar em diferentes locais ao redor do Planeta Terra.

¹ Pesquisa orientada pela Prof.^a D.ra Anna Lucia C. H. Villavicencio.

Composta por três partes principais a estrutura básica de uma semente é formada pelo embrião, que é o ponto inicial da planta, o tegumento que é uma camada rígida que protege o embrião e o endosperma que serve como fonte de energia para a germinação. Além de proteger o embrião, as sementes têm uma função de dispersão, que varia de acordo com cada espécie. Dispersão de sementes no sentido amplo positivo significa diversidade e abundância no tempo e no espaço, a semente comporta em si um mecanismo vital para a promoção da diversidade biológica e da abundância das plantas.

Uma semente no contexto agrícola é considerada o mais importante insumo, porque leva ao campo as características genéticas que vão determinar o desempenho de um cultivo e, ao mesmo tempo, tem um papel decisivo para o resultado de uma colheita.

No contexto das ciências biológicas e da tecnologia agrícola, a aplicação de tecnologias em sementes desempenha um papel fundamental em assegurar a sobrevivência e a adaptabilidade das espécies vegetais, principalmente as que fazem parte da nossa cadeia alimentar e energética, e numa ordem planetária essas plantas sustentam a complexidade e a estabilidade dos ecossistemas, trabalham sintetizando glicose através da luz, evapotranspirando água, gerando conforto térmico, fixando nitrogênio no solo, entre outras funções essenciais à nossa existência. De acordo com França-Neto, (2016), o fator “qualidade” da semente de soja é composto por quatro pilares:

1. Qualidade fisiológica, representando uma semente com alto vigor e germinação e que resulte em adequada emergência de plântulas em campo;
2. Qualidade genética, sendo geneticamente pura, representando a cultivar que se deseja semear, sem misturas varietais;
3. Qualidade sanitária, compreendendo semente livre de outras sementes de plantas daninhas e de patógenos, sejam eles fungos, vírus, nemátoides ou bactérias;
4. Qualidade física, composta por uma semente pura, livre de material inerte, como contaminantes, fragmentos de plantas, insetos, torrões e outras impurezas.

Os processos que aplicam tecnologias em sementes desempenham o papel de assegurar a sobrevivência e a adaptabilidade das espécies vegetais e sustentam a complexidade e a estabilidade dos ecossistemas. No interior de uma semente reside o mapa genético completo de uma dada espécie de planta, um código detalhado escrito em moléculas de DNA.

Esse código, que passa de geração em geração contém as instruções para construção de um indivíduo com todas as suas características únicas, desde a cor das flores e tamanho dos frutos, até a capacidade de resistência a doenças. A ciência possibilitou fazer mudanças nesse código genético. A tecnologia nuclear é um dos métodos científicos usados em sementes para produzir mudanças desejáveis.

1 HISTÓRIA DA IRRADIAÇÃO DE SEMENTES

A radiação, em uma explicação simples, é a propagação de energia através de ondas eletromagnéticas ou partículas subatômicas. Manifesta-se em várias formas: luz visível, ondas de rádio, raios X, radiação ultravioleta, radiação gama, e outras formas de energia. A radiação ionizante refere-se a um tipo de energia que tem o poder de expulsar elétrons dos átomos com os quais entra em contato. Pense nisso como uma pequena bala atingindo um átomo, fazendo com que ele perca um elétron. Se isso acontecerá ou não, depende de duas coisas principais: a energia da radiação e o tipo de material que ela atinge. A quantidade de energia necessária para arrancar um elétron de um átomo varia (dependendo do tipo de átomo), mas geralmente fica entre 2,5 a 25 elétron-volts (eV). Exemplificando: 1 eV é uma quantidade realmente pequena de energia, cerca de $1,6 \times 10^{-19}$ joules, mas quando se trata de átomos, pode ser suficiente para fazer uma grande diferença: essa radiação pode causar ionização, excitação e mudanças no DNA quando interage com os átomos da matéria. Esses efeitos são amplamente dependentes da quantidade de radiação absorvida e do tipo de átomos envolvidos.

A irradiação para fins pacíficos envolve o uso controlado de fontes radioativas para aplicações benéficas à sociedade, e contribui significativamente para melhorias na vida humana, abrangendo áreas como a medicina, agricultura e preservação de alimentos entre outras. Na cadeia da produção agrícola, a irradiação é utilizada para desenvolver novas variedades de plantas com características melhoradas, aumentando a produtividade e a segurança do alimento. Além disso, a irradiação é aplicada na preservação do alimento produzido, prolongando sua vida útil e reduzindo o desperdício. Essas aplicações pacíficas da irradiação têm impactado positivamente a qualidade de vida e o bem-estar da sociedade e da sustentabilidade agrícola.

A tecnologia nuclear é uma ferramenta importante para a produção mundial de grãos, sendo empregada, por exemplo, para acelerar a germinação de sementes por meio da aplicação da tecnologia da irradiação efetuada através de fontes de radiação ionizante, como raios gama ou feixes

de elétrons. Essa exposição controlada à radiação resulta em alterações no material genético das plantas, levando a variações nas características das mesmas. A técnica tem sido amplamente utilizada na agricultura, sobretudo na atualidade, para o desenvolvimento de novas variedades de plantas com características específicas ao cultivo desejado.

Durante o século XX, o mundo testemunhou um rápido desenvolvimento no uso da irradiação de sementes para melhorar a produção agrícola. A primeira irradiação de sementes noticiada ocorreu em 1927, quando Lewis Stadler, um geneticista norte-americano, realizou experimentos de irradiação de sementes de milho e publicou os resultados no artigo *Mutations in barley induced by X-rays and radium* (Mutação em cevada induzida por raios X e rádio) em 1928. Entende-se que este estudo foi um marco no campo da mutagênese induzida por radiação em plantas. Professor da Universidade de Iowa, Stadler conduziu pesquisas significativas sobre os efeitos da radiação nas plantas e a indução de mutações para o desenvolvimento de variedades de plantas com características desejáveis, tais como resistência a doenças e circunstâncias ou fatores do meio ambiente que são desfavoráveis, difíceis ou prejudiciais para o crescimento, e no desenvolvimento ou sobrevivência das plantas.

As décadas seguintes viram uma expansão significativa na pesquisa e aplicação dessa técnica, com o desenvolvimento da tecnologia nuclear, especialmente após a Segunda Guerra Mundial. A aplicação da radiação ionizante tornou-se uma ferramenta valiosa para acelerar a germinação de sementes e desenvolver variedades vegetais com características desejáveis. Os avanços na ciência nuclear permitiram o refinamento dos métodos de irradiação de sementes, com a utilização de fontes de radiação como raios gama e feixes de elétrons. Instituições de pesquisa e empresas agrícolas em todo o mundo investiram em instalações especializadas, como aceleradores de partículas e irradiadores de Cobalto-60, onde são possíveis conduzir experimentos e programas de melhoramento genético vegetal.

A irradiação de alimentos, incluindo sementes, frequentemente enfrenta resistência de consumidores e grupos ativistas devido a preocupações com a segurança e os potenciais impactos na saúde, por isso é necessário um diálogo aberto e transparente com a sociedade (Ahloowalia, 2004, p. 187-204) para abordar essas preocupações e garantir a regulamentação para a aplicação adequada da tecnologia da irradiação.

A tecnologia de irradiação de sementes se tornou um instrumento útil no desenvolvimento de novas variedades de plantas, contribuindo para a

segurança alimentar, a sustentabilidade agrícola e a adaptação das plantas às mudanças climáticas.

2 A MUTAGÊNESE DE SEMENTES

O uso da irradiação ionizante na mutagênese em sementes é um tratamento dito físico, que não envolve produtos químicos, é uma técnica que introduz mutações genéticas de forma controlada, envolve a exposição das sementes à radiação ionizante, como os raios gama ou feixes de elétrons de forma controlada, visando o desenvolvimento de variedades com características desejáveis, como resistência a doenças, cor das flores, tamanho dos frutos, resistência a doenças, tolerância a condições ambientais adversas, entre outros.

Cientistas como austriaco Gregor Mendel (1822-1884), biólogo e botânico, denominado o pai da genética, dedicaram suas vidas a desvendar os segredos do código genético nas sementes. Através de experimentos meticulosos com ervilhas, Mendel descobriu os princípios básicos da herança, demonstrando que características como a altura das plantas eram determinadas por unidades discretas, hoje conhecidas como genes. Analisando um genoma, é possível identificar genes específicos responsáveis por características de interesse agrícola, como resistência a pragas, tolerância à seca ou alto valor nutritivo.

A modificação genética, permite a inserção de genes específicos que conferem vantagens adaptativas, potencializando a capacidade das plantas de sobreviverem em ambientes desafiadores, essa mutação induzida ocorre através de técnicas complexas que requerem infraestrutura física, legislações adequadas e sobretudo investimentos amplos em ciência e educação.

Por meio da técnica, cerca de 2250 variedades de plantas foram lançadas nas últimas décadas, incluindo importantes culturas, como arroz, trigo, algodão, canola, girassol, gergelim, toranja e banana, impactando significativamente a área cultivada e a economia mundial (Ahloowalia, 2004, p. 187-204). Ao longo dos anos, a mutagênese tem desempenhado um papel importante no desenvolvimento de variedades de plantas com características melhoradas, com o avanço da biotecnologia, novas técnicas de mutagênese, como a edição de genes, têm sido desenvolvidas, oferecendo métodos mais precisos e direcionados para a modificação genética de plantas, o uso da irradiação ionizante, pela técnica da irradiação das sementes é um dos meios de induzir a mutagênese.

Basicamente o método consiste em selecionar as sementes das plantas alvo, levando em consideração a espécie, variedade e características

desejadas, as suas sementes são expostas a fontes de radiação ionizante em instalações adequadas, como aceleradores de partículas, equipamentos de Raios X ou irradiadores de Cobalto-60. A radiação penetra nas sementes e interage com o material genético, induzindo mutações genéticas controladas, sem comprometer a viabilidade das sementes. A dose ideal varia de acordo com a espécie vegetal e o objetivo da irradiação. As sementes irradiadas são colocadas para germinar e as plântulas resultantes são avaliadas quanto a características desejáveis, como resistência a doenças, maior rendimento em uma ou outra condição ambiental de alvo ou outras características agronomicamente importantes, esses mutantes que desenvolverem as características pretendidas são selecionados e propagados para gerações. A irradiação pode ser usada para produzir plantas geneticamente modificadas (OGM) ou as plantas transgênicas (T).

2.1 A HORMESE EM SEMENTES

A aplicação da irradiação na bioestimulação por estresse físico, a hormese² em sementes explora o poder de baixas doses de estresse para estimular o crescimento e a produtividade das plantas, neste caso essa aplicação da irradiação ionizante nas sementes ativa mecanismos de defesa naturais dentro das delas, essa ativação prepara as sementes para enfrentar condições adversas no ambiente, como pragas, doenças e estresse ambiental, tornando-as mais resilientes e produtivas.

2.2 CONTROLE DE PRAGAS NAS SEMENTES

Mundialmente alvo de avaliações rigorosas de segurança e protocolos regulatórios a tecnologia de irradiação apresenta-se como uma abordagem não química para o controle de pragas contidas nas sementes.

O controle químico de pragas pode causar problemas severos na produção agrícola mundial, incluindo o desenvolvimento de resistência a inseticidas, ressurgência de insetos e ácaros pragas, erupções de pragas secundárias, eliminação de inimigos naturais e resíduos de praguicidas em alimentos (Morse, 1998, p. 266-269).

Ao contrário dos métodos tradicionais que dependem de pesticidas e fumigantes, a irradiação de sementes proporciona uma alternativa livre de produtos químicos para combater pragas e prolongar a vida útil da semente sobretudo as que se manifestam no período de armazenagem, a

2 Do grego “hormaein” que significa “excitar”. É definida como um comportamento bifásico, no qual uma resposta do organismo é estimulada por baixas doses de um composto, mas inibida por altas doses desse mesmo composto.

irradiação pode prevenir infestações e minimizar perdas. Ao controlar a multiplicação de patógenos e pragas que causam a deterioração, a tecnologia irradiação mantém a qualidade das sementes por mais tempo. Isso é particularmente vantajoso para as sementes que precisam ser armazenadas por longos períodos antes do plantio, diminuindo prejuízos financeiros porque reduz as perdas.

Figuras 10 e 11: Exemplos de algumas sementes de interesse para o consumo humano



Fonte: Acervo da autora

2.3 QUEBRA DA DORMÊNCIA NAS SEMENTES

A característica de certas plantas retardarem a germinação de suas sementes, até as condições do ambiente estarem adequadas, é um importante mecanismo de sobrevivência. Esse fenômeno chama-se dormência e geralmente ocorre devido à redução da hidratação do citoplasma. Isso permite a maior resistência dessas sementes a possíveis condições adversas. A maioria das espécies anuais cultivadas, como o milho, feijão e trigo, não apresentam dormência prolongada devido à seleção e ao melhoramento genético (Medeiros, 2001).

A tecnologia da irradiação ionizante nas sementes estimula a quebra da dormência. Aliada a tecnologias da biotecnologia, ela produz situações nas sementes que aumentam o vigor inicial das plântulas.

A dormência é um mecanismo natural que impede a germinação das sementes mesmo em condições ambientais favoráveis. A dormência exógena tem como causa fatores externos à semente, como impermeabilidade do tegumento à água ou presença de inibidores químicos. A dormência endógena

é originada de dentro semente, envolvendo alterações hormonais, fisiológicas ou morfológicas que impedem a germinação. Para superar esse estado de "repouso", as sementes precisam passar por um processo conhecido como quebra da dormência, que envolve uma série de eventos fisiológicos e bioquímico, esse é um processo essencial para a germinação das sementes e, produção de espécies vegetais que apresentem plântulas com vigor.

O vigor inicial das plântulas refere-se à capacidade das plântulas recém-germinadas de crescer e se desenvolver de forma robusta e saudável nos estágios iniciais de crescimento. É uma medida da força e vitalidade das plântulas logo após a germinação e durante os estágios iniciais de crescimento, geralmente nos primeiros dias ou semanas após a emergência das sementes. E é influenciado por vários fatores, a qualidade das sementes, condições ambientais durante a germinação e crescimento, presença de doenças e pragas. Plântulas com alto vigor inicial exibem características como rápido crescimento de raízes e brotos, aparência vigorosa, coloração verde intensa e resistência a condições adversas, como seca ou calor excessivo.

3 CASOS DE SUCESSO DE IRRADIAÇÃO DE SEMENTES

É de grande importância ter colheitas saudáveis e diversificadas para alimentar a população mundial. Produção de alimento é um tema de extrema relevância nos dias atuais, em que as questões como segurança alimentar, sustentabilidade ambiental e saúde pública estão intrinsecamente interligadas. Investimentos em pesquisa agrícola e tecnologias inovadoras são essenciais para promover sistemas alimentares diversificados, saudáveis e sustentáveis.

Nos últimos oitenta anos, mutagênicos físicos, principalmente radiações ionizantes, têm sido amplamente usados para induzir alterações hereditárias desejáveis. Mais de 70 % das variedades mutantes foram desenvolvidas usando mutagênese física (MBA; AFZA; Shu, 2012). Políticas e práticas que incentivem a diversificação das colheitas tornaram-se prioritárias nas agendas dos países, organizações internacionais, como a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) e a Organização Mundial da Saúde (OMS), têm estabelecido diretrizes e padrões para o uso seguro da irradiação em alimentos e sementes.

Estudos científicos contínuos garantem que a irradiação não compromete a segurança das sementes tratadas. Muito pelo contrário, podemos citar cultivos comerciais que foram desenvolvidos por meio da irradiação com Cobalto-60 e aplicados com sucesso.

No Vietnã a variedade "VN10" de arroz, é resistente à ferrugem e apresenta alto teor de betacaroteno, assim como o intitulado "V20" um feijão-mungo, que é resistente ao mosaico amarelo e desenvolvido para apresentar maior teor de proteínas.

Na China a variedade de trigo "Sumai 3" foi modificada para ser resistente à ferrugem através da irradiação com Cobalto-60 e aplicações biotecnológicas. Na Índia a variedade "Basmati 6" de arroz, resistente a pragas e doenças, assim como variedades de grão-de-bico com maior teor de proteínas e ferro foram obtidas irradiando suas sementes.

A Tailandia produziu o arroz "RD15", resistente à seca e salinidade, além de um cultivo de mamão com maior resistência a doenças e maior tempo de prateleira. A variedade "IR64" de arroz, nas Filipinas é resistente a pragas e doenças, e também foi obtida por meio da irradiação com Cobalto-60.

Na American do Norte a variedade de milho chamada "DroughtGard" é resistente à seca e ao inseto-da-raiz do milho. Da mesma forma, foi produzida a cevada da variedade "Maverick": semente de cevada que foi modificada e ganhou resistência ao vírus da mancha amarela da cevada e resistência à seca.

Também a América do Sul se beneficiou com a tecnologia nuclear aplicada em sementes. As sementes de soja, com variedades amplamente usadas no Brasil, como a Brasmax E 大豆 50 RR, BM Max Intacta RR, FT 500 IPRO, apresentam os benefícios de resistência ao herbicida glifosato expressando uma maior produtividade e melhor qualidade geral dos grãos.

No Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), USP, em Piracicaba, São Paulo, já foi desenvolvida, com o uso da radiação, uma variedade de feijão mais resistente a praga do vírus do mosaico dourado, doença que ataca as folhas da planta do feijão na seca, que impede o desenvolvimento regular da planta, essa variedade foi cruzada com outra sem o tratamento e gerou um produto que vem sendo comercializado desde a década de 1990. Também foi desenvolvida uma variedade de girassol resistente à praga *Alternaria helianthi*:

Com o objetivo de gerar variabilidade genética para resistência a *Alternaria helianthi*, foi iniciado um experimento de mutação induzida em girassol, com o uso de radiação gama. Um teste de sensibilidade foi realizado para determinar o melhor índice de radiação para sementes de girassol. Sementes da linhagem S4 89V2372 foram irradiadas com 10 a 50 krad de raios gama, por 14,4 min a 30 cm de distância, no CENA-USP. A germinação das sementes foi avaliada em testes de germinação em laboratório e a campo. As doses mais adequadas ficaram entre 15 e 16,5

krad. Em seguida, 4000 sementes foram irradiadas com os níveis de 15 e 16,5 krad. As sementes irradiadas (M1) foram semeadas no campo, em julho de 1996, e as plantas foram autofecundadas para obtenção de geração M2. Sementes não irradiadas foram utilizadas como controle. As plantas M1 foram avaliadas para sobrevivência, clorose, altura de planta, esterilidade e produção. As plantas foram colhidas em bulk. A geração M2 foi semeada em janeiro de 1997, na densidade de 70.000 plantas/ha, de modo a favorecer a ocorrência de mancha de alternaria. As plantas foram avaliadas para severidade da doença. As plantas que não apresentaram sintomas na fase de florescimento foram autofecundadas e colhidas individualmente, para constituirem a geração M3. Outras plantas que, na época da colheita, apresentaram menor severidade de mancha de alternaria foram colhidas individualmente, para constituirem famílias de meio-irmaos. Na terceira etapa, as linhas M3 serão avaliadas para resistência a doença, características agronômicas e teor de óleo. As melhores linhas serão selecionadas para uso no programa de melhoramento de girassol. (Oliveira et. al., 1997, p. 30)

Outro exemplo de uso de uso da radiação ionizante para a criação de mutações genéticas desejáveis, hoje aplicada comercialmente por produtores de flores em Holambra, em São Paulo, foi a obtenção de variedades de cores de crisântemos que até então não existiam.

Figuras 12 e 13: Pesquisas com flores: girassóis e crisântemos



Fonte: Acervo da autora

O Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), com um corpo técnico especializado e suas unidades de irradiação, tem apoiado a indústria de sementes e grãos no desenvolvimento de boas práticas de irradiação. Isso inclui estabelecer níveis adequados de tratamento para diversos produtos agrícolas através do processo de irradiação, além de garantir o controle de qualidade por meio do desenvolvimento de técnicas e procedimentos para a identificação de sementes e grãos irradiados. Segundo seu portal institucional os avanços tecnológicos têm facilitado a comercialização de produtos agrícolas, mesmo os perecíveis, entre regiões distantes e geograficamente diversas do planeta. Muitos países impõem rigorosa fiscalização fitossanitária na importação de produtos agrícolas para prevenir a introdução e disseminação de pragas de um local para outro. Regiões tropicais, como o Brasil, são altamente favoráveis ao cultivo de diversas culturas agrícolas de interesse. Entretanto, também são propensas ao desenvolvimento de várias espécies de pragas que podem afetar significativamente a produção agrícola e a segurança do alimento. Empreender cientificamente para compreender as complexidades das sementes é fundamental para utilizar o potencial da irradiação nelas (Brasil, s.d.).

Vimos que historicamente, assim como no presente, a tecnologia nuclear se apresenta como um campo abrangente de práticas e inovações tecnológicas de sucesso e aplicabilidade, englobando desde sua integração com a biotecnologia para o aprimoramento genético até técnicas de tratamento e armazenamento de sementes, todas de vital importância para a agricultura atual e a tão necessária preservação da biodiversidade. Com a otimização das técnicas e metodologias e a integração com outras práticas, compreendendo os diferentes usos e benefícios, poderemos aplicar a tecnologia nuclear com segurança e eficiência em sementes.

REFERÊNCIAS

- AHLOOWALIA, B. S. et al. *Global impact of mutation-derived varieties*. *Euphytica*, [s.l.], v. 135, n. 2, p. 187-204, 2004. DOI:10.1023/A:1004162323428.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. *Glossário ilustrado de morfologia*. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 406 p
- BRASIL. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN). *Irradiação de Alimentos*. São Paulo: [s.n., s.d.]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/456561> Acesso em: 25 jul. 2024.

BADO, Souleymane et al. Plant Mutation Breeding: current progress and future assessment. *Plant Breeding Reviews*. [S.l.: s.n.], 2015. v. 39, chapter 2. DOI:10.1002/9781119107743.ch02.

CALABRESE, Edward J.; BALDWIN, Linda A. Hormesis: u-shaped dose responses and their centrality in toxicology. *Trends in Pharmacological Sciences*, [s.l.], v. 22, n. 6, p. 285–291, 2001. DOI:10.1016/S0165-6147(00)01719-3.

FRANÇA-NETO, J. B. et al. Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade. *Embrapa Soja*, Londrina, n. 380, 2016. 82 p. il. ISSN 2176-2937.

FLORES, P. S.; BRUCKNER, C. H. Radiossensibilidade de sementes e segmentos caulinares de maracujazeiro-amarelo submetidos à radiação gama. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 45, n. 12, p. 2.131-2.136, 2015. ISSN 0103-8478.

LIMA, D. C. *Efeitos da irradiação nas propriedades físico-químicas do feijão carioca*. 69 f. 2016. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2016. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64134/tde-13092016-152914/>. Acesso em: 25 jul. 2024.

MBA, C.; AFZA, R.; Shu, Q. Y. Mutagenic radiations: x-rays, ionizing particles and ultraviolet. In: SHU, Q. Y.; FORSTER, B. P.; NAKAGAWA, H. *Plant mutation breeding and biotechnology*. Wallingford: [s.n.], 2012. DOI: 10.1079/9781780640853.0083.

MORSE, J. G. Agricultural implications of pesticide-induced hormesis of insects and mites. *Human and Experimental Toxicology*, [s.l.], n. 17, p. 266–269, 1998. ISSN: 0960-3271; On-line ISSN: 1477-0903.

MEDEIROS, C. S. et al. *Circular técnica* EMBRAPA Florestas Colombo-PR, 2001. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/41994/1/CT0055>. Acesso em: 25 de maio de 2024

OLIVEIRA, M. F. de; TULMANN NETO, A.; LEITE, R. M. V. B. de C.; ARIAS, C. A. A.; CASTIGLIONI, V. B. R. Mutação genética induzida em girassol para resistência a mancha de alternaria. In: REUNIAO NACIONAL DE PESQUISA DE GIRASSOL, 12., 1997, Campinas. *Resumos [...]* Campinas: ITAL, Fundação Cargill, 1997, p. 30. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/456561>. Acesso em: 25 jul. 2024.

PEREIRA, Antonio Batista; PUTZKE, Jair. *Dicionário Brasileiro de Botânica*, 2010, Editora: EDITORA CRV. ISBN: 978-85-62480-25-6. DOI: 10.24824/978856248025.6

Irradiação de Alimentos e Comércio de Frutas no Brasil

Bianca Guimarães Negrão¹

1 PRODUÇÃO DE FRUTAS NO BRASIL

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), uma dieta saudável para adultos deve incluir pelo menos 400 g, o equivalente a cinco porções, de frutas e vegetais por dia, dado seu papel fundamental na nutrição humana e segurança alimentar. As frutas, integrantes do grupo de alimentos essenciais para a consumo diário, são ricas fontes de micronutrientes (vitaminas e minerais), fibras dietéticas e fitoquímicos diversos.

As vitaminas e minerais presentes nas frutas são efetivas para o funcionamento adequado do organismo. As fibras dietéticas auxiliam na digestão, promovendo a saúde intestinal. Além disso, estudos indicam que o consumo adequado contribui significativamente para a prevenção de doenças crônicas, como câncer, diabetes, osteoporose e alergias. Uma vez que os fitoquímicos atuam como antioxidantes, combatendo os radicais livres e, consequentemente, reduzindo o estresse oxidativo nas células e tecidos.

Além de seu papel fundamental na dieta e na saúde, as frutas brasileiras destacam-se pela diversidade de cultivo proporcionada pelo vasto território nacional e pela variedade de climas. Essa capacidade de adaptação permite que o Brasil seja um dos maiores produtores mundiais de frutas. Essa diversidade não só enriquece o mercado interno, proporcionando uma rica culinária regional, como também impulsiona as exportações, contribuindo de maneira significativa para a economia agrícola do país.

De acordo com dados da Food and Agriculture Organization, FAO (2023), o Brasil ocupa o terceiro lugar no ranking mundial de produção de frutas. A China é o maior produtor mundial de frutas, concentrando diversos cultivos tais como maçã, citros, melão, pera e melancia; e a Índia é o segundo maior produtor, com destaque para banana, manga e laranja.

Algumas frutas mais comuns de exportação brasileira incluem a manga, o melão, a uva, a banana, a maçã e o limão. Essas frutas são cultivadas em diferentes regiões do país, aproveitando os diversos climas e solos favoráveis para a produção de altíssima qualidade. A manga, por exemplo, é amplamente cultivada no Nordeste e no Norte, enquanto o melão, o é,

¹ Pesquisa orientada pela Prof.a Dra. Anna Lucia C. H. Villavicencio.

especialmente, no Rio Grande do Norte. A uva e a maçã são produzidas principalmente no Sul, beneficiando-se do clima temperado. A banana, por sua vez, é cultivada em várias partes do país, adaptando-se bem tanto ao clima tropical quanto ao subtropical.

Figura 14: Dados sobre frutas mais exportadas nos últimos dois anos.



Fonte: Abrafrutas, 2024.

O principal destino da fruticultura brasileira são países da União Europeia, seguido dos Estados Unidos. Nesse contexto, para a expansão das exportações brasileiras de frutas para os principais mercados importadores, as empresas devem focar na análise de risco e na adequação e no desenvolvimento de mecanismos para a certificação dos produtos aos requisitos estabelecidos pelos mercados internacionais garantindo a qualidade, segurança e padronização dos produtos.

O cumprimento dessas normas garante conformidade dos produtos brasileiros facilitando o acesso aos mercados internacionais, fortalecendo a posição competitiva do Brasil como um exportador confiável de frutas de alta qualidade.

Pode-se citar as exigências da União Europeia (UE) sobre Limite Máximo de Resíduos (LMR) de agrotóxicos em frutas além de requisitos específicos para tratamentos fitossanitários que pedem uma fruticultura cada vez mais ajustada e eficiente, uma vez que o acesso aos mercados inter-

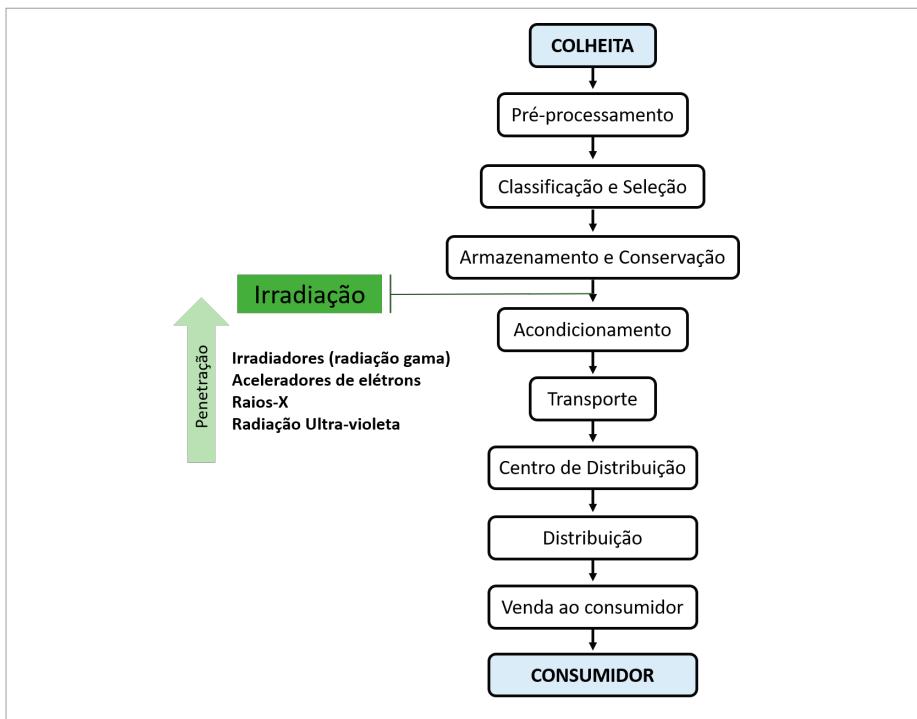
nacionais dependem dos regulamentos individuais dos países que importam os produtos.

Deste modo, os produtores de frutas e exportadores procuram não só produtividade ou a técnica de produção, mas também métodos e medidas que possibilitam maior inserção e ampliação de sua presença no país de destino usando como referência o comitê do *Codex Alimentarius*, programa conjunto da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação (FAO); e da OMS.

2 PROCESSAMENTO POR RADIAÇÃO IONIZANTE EM FRUTAS

A produção de frutas enfrenta uma série de desafios relacionados às perdas pós-colheita, que impactam tanto a economia quanto a segurança alimentar globalmente. Um dos principais desafios é a complexidade da cadeia de processos que envolvem várias etapas, desde a colheita até o consumidor final.

Figura 15. Etapas da produção de frutas da colheita até o consumidor.



Fonte: Elaborado pela autora.

Durante esse percurso, as frutas são expostas a condições adversas de manuseio, transporte e armazenamento, que podem resultar em deterioração e perdas substanciais. Além das questões logísticas, as perdas pós-colheita também são acentuadas pela presença de patógenos microbianos e pragas que podem causar doenças e degradação rápida do produto o que limita a disponibilidade de frutas frescas e saudáveis para consumidores locais e internacionais.

Para mitigar riscos, são necessárias soluções inovadoras e sustentáveis como métodos de manejo integrado de pragas e doenças, tornando mínimo o uso de produtos químicos nocivos, além de métodos de conservação adequados que garantam maior vida de prateleira das frutas.

No contexto da pós-colheita de frutas, a utilização de métodos eficazes de conservação de alimentos maximiza a vida útil dos produtos, garante a segurança alimentar e minimiza o desperdício. A irradiação de alimentos é um método de conservação que utiliza radiação ionizante para eliminar microrganismos (segurança do alimento), insetos e parasitas (tratamento fitossanitário), e é validada por rigorosos protocolos de controle de qualidade e por organismos internacionais como a OMS e a Food and Drug Administration (FDA) dos Estados Unidos. Assim como pela ANVISA, no Brasil, por meio dos requisitos técnicos e sanitários estabelecidos na Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) – RDC nº 21, de 26 de janeiro de 2001.

Figura 16: Benefícios da irradiação de alimentos alinhadas as ODS.



Fonte: Elaborado pela autora

A aplicação da energia nuclear com o uso da radiação ionizante na indústria de alimentos está alinhada à Agenda 2030 e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). As normas de implementação contri-

buem para a erradicação da pobreza, a promoção da saúde e bem-estar, prevenindo doenças transmitidas por alimentos, reduzindo o desperdício e promovendo práticas agrícolas e industriais mais sustentáveis.

No entanto, é importante ressaltar a necessidade de estudos preliminares individuais. Determinar a dose ideal de irradiação de forma que se encontre o equilíbrio entre a efetividade e a preservação das características das frutas.

Contudo, é importante destacar que as doses aplicadas em frutas não visam à esterilização, mas sim à redução da carga microbiana e à eliminação de patógenos específicos de interesse. Portanto, devem ser mantidas as boas práticas de higiene e manipulação das frutas antes e após o processamento para garantir a sua qualidade.

A decisão de utilizar a irradiação de alimentos deve ser tomada com base em uma análise criteriosa dos riscos e benefícios, considerando as características das frutas, as necessidades do mercado e as regulamentações locais.

Para avaliar a efetividade do processamento de frutas por radiação ionizante e determinar as doses adequadas (kGy), é necessário seguir uma série de etapas. Primeiramente, são conduzidos experimentos de laboratório que avaliam a sensibilidade de patógenos específicos à radiação, determinando a dose mínima necessária para sua inativação.

Figura 17: Fatores a serem considerados para determinação da dose ideal para frutas

 <p>Patógenos Alvo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • A sensibilidade dos microorganismos presentes na fruta à radiação varia consideravelmente. • O conhecimento preciso da microbiota da fruta e da resistência dos patógenos à radiação é fundamental para definir a dose mínima necessária. <p>Efeitos desejáveis:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Além da eliminação de patógenos, a irradiação pode promover efeitos benéficos adicionais, como a extensão da vida útil, controle de insetos e parasitas. • A dose ideal deve considerar esses benefícios potenciais, ajustando-se às necessidades específicas da fruta e do mercado. 	 <p>Características da Fruta:</p> <ul style="list-style-type: none"> • A composição química e física, assim como o estado de maturação da fruta influenciam significativamente a sensibilidade à radiação. <p>Efeitos indesejáveis:</p> <ul style="list-style-type: none"> • A irradiação, em doses excessivas, pode ocasionar alterações no sabor, textura, cor e valor nutritivo da fruta e a aceitabilidade do produto pelo consumidor, enquanto a perda de nutrientes pode comprometer o valor nutricional da fruta.
--	---

Fonte: Elaborado pela autora

Esses experimentos também investigam os efeitos da radiação na qualidade sensorial, nutritiva e na textura das frutas em diferentes doses e na estabilidade durante armazenamento a condições diferentes de temperatura.

Deve ser feita uma análise de risco abrangente considerando os benefícios e riscos da irradiação em cada caso específico, com foco na saúde pública, na qualidade da fruta e nos aspectos econômicos.

A seguir alguns exemplos de análises (figura 5) realizadas para validação do uso da radiação ionizante em frutas:

Análises Físico-Químicas: Incluem a determinação de pH, acidez, teor de umidade, conteúdo de sólidos solúveis, concentração de açúcares, e composição mineral dos alimentos. Essas análises ajudam a avaliar as mudanças nas características físicas e químicas após a irradiação.

Análises Instrumentais: Utilizam técnicas como espectroscopia, cromatografia e espetrometria para analisar compostos específicos nos alimentos antes e após a irradiação. Isso pode incluir a detecção de metabólitos secundários, compostos voláteis e alterações na estrutura molecular.

Análises Nutricionais: Avaliam o teor de nutrientes essenciais como vitaminas (por exemplo, vitamina C), minerais, antioxidantes e outros compostos bioativos. Estudos nutricionais determinam se há perda significativa desses nutrientes devido à irradiação e se os alimentos irradiados mantêm seu valor nutricional.

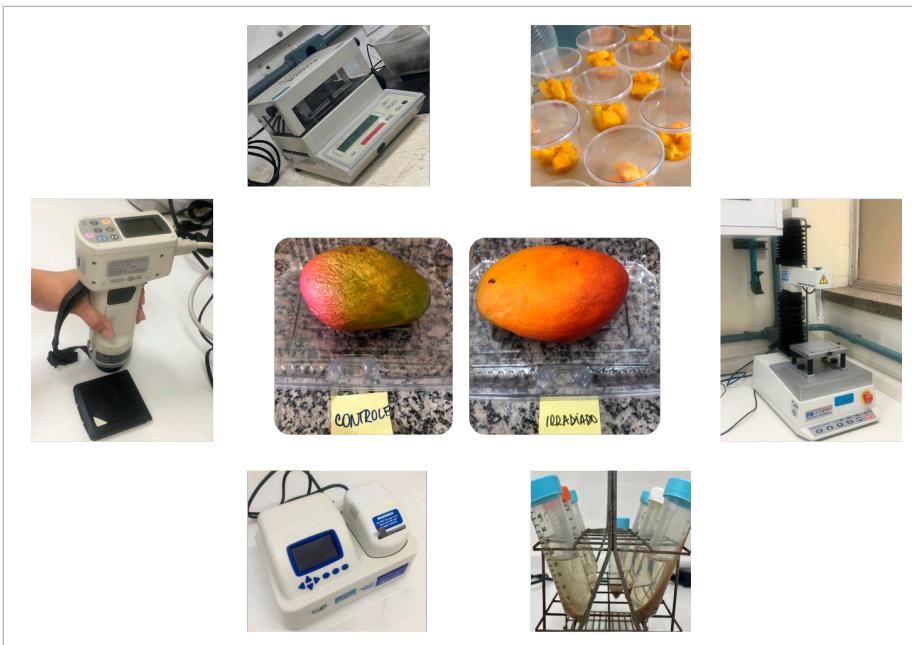
Análises Sensoriais: São conduzidas para avaliar mudanças no sabor, aroma, cor, textura e aceitação geral das frutas irradiados em comparação com os não irradiados. Testes de preferência e análises sensoriais descritivas são comumente utilizados para determinar a aceitabilidade dos consumidores.

As doses específicas variam conforme o tipo de fruta e os objetivos do tratamento. Estudos científicos realizados no IPEN pelo Laboratório de Detecção e Análise de Alimentos Irradiados (LADA) ao longo dos últimos sessenta anos fornecem informações sobre doses eficazes e seguras para diferentes frutas. Estes estudos levam em consideração a composição específica das frutas e os efeitos desejados do tratamento de irradiação:

- I. Desinfestação de Insetos e Pragas: Baixas doses de radiação (até 1 kGy) são aplicadas para desinfestar frutas de insetos e pragas, doses recomendadas em frutas destinadas à exportação, onde o controle de pragas é crucial para atender às exigências de mercados internacionais.
- II. Aumento da vida útil: Doses médias (1-3 kGy) auxiliam no retardamento de processos de maturação e degradação.
- III. Inativação de Patógenos: Doses entre 3 a 7 kGy são utilizadas para reduzir a carga microbiana e eliminar patógenos específicos, como bactérias e fungos, que podem causar doenças transmitidas por ali-

mentos. No entanto, é essencial avaliar a dose para preservar a qualidade nutricional e sensorial das frutas, evitando alterações adversas na textura e no sabor. Altas doses (7–10 kGy) não são recomendadas especificamente nesse caso, uma vez que alteram significativamente toda a composição química, sensorial dos frutos irradiados.

Figura 18: Exemplos de alguns equipamentos utilizados em análises para determinação de dose mínima (Controle: fruta não irradiada)



Fonte: Acervo da autora, s.d.

Embora, haja vantagens significativas na irradiação de frutas a implementação efetiva enfrenta desafios que vão desde questões regulatórias e de custo até percepções do mercado e infraestrutura disponível. Um dos principais obstáculos são os custos da infraestrutura de apoio necessária para a irradiação de alimentos. Isso inclui desde serviços de logística para o transporte seguro de produtos irradiados até o suporte técnico especializado para a operação dos equipamentos. Em algumas regiões do Brasil, essa infraestrutura pode não estar totalmente desenvolvida, o que representa um desafio adicional para a adoção da irradiação de frutas. Segundo um relatório desenvolvido pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), em 2022; é possível identificar três tipos principais de grupos de produtores. O primeiro grupo são aqueles que dependem da irradiação

para atender mercados específicos, como exportação e aumentar a vida útil dos produtos. Eles estão dispostos a investir para resolver seus problemas de maneira eficaz e segura. O segundo grupo são empresas que estão considerando usar a irradiação, mas ainda não decidiram completamente, preferindo avaliar custos e benefícios antes de adotar essa tecnologia.

Já o terceiro grupo inclui empresas que desconhecem ou são céticas em relação à irradiação, talvez por preocupações com a segurança dos alimentos. Esses clientes precisam de mais informação para entender como a irradiação pode ser benéfica sem comprometer a qualidade dos produtos.

As perspectivas para frutas irradiadas no Brasil nos próximos anos são esperançosas, impulsionadas principalmente pela necessidade de atender a competitividade internacional. É mais do que comprovado cientificamente que a tecnologia de irradiação é uma solução robusta para estender a extensão da vida útil das frutas, especialmente diante das crescentes exigências globais em termos de normas fitossanitárias.

A expansão do uso dessa tecnologia não apenas fortalecerá as exportações do Brasil, facilitando o acesso a mercados rigorosos, mas também promoverá avanços significativos no mercado interno, onde pode ser aplicada em produtos como sucos e polpas, promovendo assim a sustentabilidade e reduzindo as perdas pós-colheita.

A aceitação e a confiança dos produtores é um grande aliado no desenvolvimento e investimento de uma infraestrutura logística fundamental para viabilizar o transporte eficiente tanto dentro quanto fora do país.

Podemos tomar como referência países como os Estados Unidos, México, Tailândia e Índia, que adotaram diversas medidas estratégicas para o uso da irradiação em alimentos. Isso inclui o estabelecimento de normas claras e rigorosas alinhadas com as diretrizes internacionais de segurança alimentar, como definição de limites de dose de radiação aceitáveis e métodos de rastreabilidade.

Esses países também realizaram investimentos significativos em infraestrutura ao mesmo tempo em que instruíram produtores, exportadores e consumidores sobre os benefícios da irradiação de alimentos, promovendo uma maior aceitação e compreensão dessa tecnologia. Com essas medidas, o Brasil poderá explorar todo o potencial das frutas irradiadas, transformando desafios atuais em oportunidades tangíveis para um setor agrícola.

Farinhas irradiadas de resíduos de frutas: contribuições para os ODS e melhoramentos tecnológicos

Luz Mérida Rondán Flores¹

INTRODUÇÃO

O mundo testemunhou um crescimento populacional rápido, o que estimulou o desenvolvimento da indústria de processamento de alimentos para atender à demanda diária dos consumidores. Em termos de produção de sucos, sumos, compotas ou vinhos, os frutos, como matéria-prima tendem a ser utilizados parcialmente em vez de totalmente, o que significa que os subprodutos como sementes e cascas seriam inevitavelmente gerados. Em geral, esses subprodutos seriam descartados como resíduos, o que, em certa medida, pesaria sobre o meio ambiente e o desenvolvimento econômico. Uma das soluções apresentadas para a crescente ameaça trazida pela acumulação de alimentos e resíduos agrícolas é a adoção de Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) por todos os países. Reduzir a perda de alimentos ao longo da cadeia de abastecimento e valorizar os resíduos agroalimentares são os principais objetivos deste conceito. Através disto, a valorização dos resíduos agroalimentares pode tornar-se um conceito viável para a bioeconomia sustentável, promovendo estratégias para a valorização destes materiais tendo em conta a indústria de produção alimentar através da ideia de economias verdes ou eco-economias. No entanto, esses subprodutos agroindustriais podem ser considerados fontes de baixo custo, sustentáveis e valiosas de compostos bioativos, como fibras alimentares, antioxidantes, óleos essenciais, ácidos orgânicos e enzimas. As fibras alimentares de resíduos de frutas são geralmente classificadas com base em sua solubilidade em fibras solúveis, por exemplo: pectina; e insolúveis, por exemplo: celulose, hemicelulose, lignina; que apresentam excelentes propriedades funcionais e promotoras da saúde. Portanto essas fibras alimentares apresentam grande potencial para serem uti-

1 Pesquisa orientada pela Prof.^a Dra. Anna Lucia C. H. Villavicencio.

lizadas em alimentos funcionais e nutracêuticos. A utilização de estes subprodutos gerados pelas indústrias de processamentos de alimentos tem grande potencial para a elaboração de farinhas não convencionais (farinha da casca de maracujá, laranja, banana verde, pitaya, dentre outras) para melhorar os valores nutricionais e de promoção da saúde, ao mesmo tempo que melhoram as propriedades tecnológicas e sensoriais de produtos.

No Brasil, a utilização de farinhas de frutas ganha destaque, especialmente no contexto da inovação tecnológica. A irradiação de alimentos é uma das tecnologias que vêm sendo aplicadas para melhorar a qualidade e segurança dessas farinhas. Além de contribuir para a preservação do alimento, a irradiação pode melhorar suas propriedades benéficas para o consumo, pois permite aumentar a quantidade de biocompostos disponíveis no produto e melhorar a capacidade de extração dos compostos bioativos em amostras irradiadas. Desta forma, a aplicação da tecnologia de radiação ionizante no tratamento de resíduos para seu reaproveitamento na indústria de alimentos ganha espaço e torna-se uma alternativa viável.

1 CONTRIBUIÇÕES PARA OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS)

Atualmente, o desenvolvimento socioeconômico e a sustentabilidade ambiental são aspectos fundamentais pautados pelas agências internacionais e nacionais para qualquer sociedade, sendo urgente aliar o aumento da produção de alimentos e o atendimento aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, ODS (ONU, 2015), através do uso de tecnologias para diminuir perdas e desperdícios, permitindo assim, alcançar novos mercados pelo ganho de qualidade.

O Brasil assumiu o compromisso de reduzir pela metade as suas perdas e desperdícios de alimentos até 2030, como parte de seu compromisso ético, econômico e ambiental, com o Objetivo de Consumo Sustentável (ONU, 2015).

A energia nuclear tem se mostrado uma solução sustentável e eficiente para diversos desafios globais. Além de todas as suas aplicações, esta possui um papel no cumprimento dos ODS. A energia nuclear, ao fornecer eletricidade de baixa emissão de carbono, contribui significativamente para o ODS 7, que visa garantir energia limpa e acessível, e para o ODS 13, relacionado à ação contra a mudança global do clima, ao reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Além disso, promove a inovação tec-

nológica e o desenvolvimento industrial, alinhando-se ao ODS 9, que busca construir infraestrutura resiliente, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação.

Dentro desse contexto, a irradiação de alimentos emerge como uma aplicação essencial da energia nuclear. Este processo utiliza radiação ionizante para eliminar microrganismos, insetos e parasitas, estendendo a vida útil dos produtos alimentícios e assegurando a segurança alimentar. Reconhecida por organizações como a Organização Mundial da Saúde (OMS) e a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), a irradiação de alimentos contribui para o ODS 2 ao reduzir perdas pós-colheita e garantir a segurança dos alimentos, promovendo a agricultura sustentável e erradicando a fome. Além disso, ao diminuir a incidência de doenças transmitidas por alimentos, a irradiação apoia o ODS 3, que visa assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos.

Os resíduos agroindustriais representam um desafio significativo para a sustentabilidade ambiental. Transformar esses resíduos em produtos úteis, como farinhas de frutas, pode ser potencializado pela irradiação, que melhora a qualidade e a segurança microbiológica dos produtos. Essa prática está alinhada com o ODS 12, que visa assegurar padrões de consumo e produção sustentáveis, promovendo a economia circular e reduzindo o desperdício. Ademais, uma gestão adequada desses resíduos contribui para a preservação dos ecossistemas terrestres, conforme preconiza o ODS 15. Estudos têm demonstrado os benefícios da irradiação em diversos tipos de farinhas de frutas, melhorando a tecnologia das farinhas e inovação na indústria alimentícia conforme a ODS 9. Um exemplo são as pesquisas com cascas de pitaya vermelha indicam que a irradiação pode aumentar a atividade antioxidante e melhorar a qualidade nutricional do produto, além de prolongar sua vida útil (Rondan-Flores *et al.*, 2023). Esses avanços tecnológicos não apenas melhoram a segurança alimentar, mas também criam oportunidades para a utilização de resíduos agroindustriais em setores como a panificação e a confeitoraria.

A integração da energia nuclear e da irradiação de alimentos nas estratégias de desenvolvimento sustentável oferece soluções inovadoras para os desafios globais. Ao contribuir para vários ODS, essas tecnologias promovem a segurança alimentar, a sustentabilidade ambiental e a inovação industrial. O reaproveitamento de resíduos agroindustriais, potencializado pela irradiação, exemplifica como a ciência e a tecnologia podem ser aliadas poderosas na construção de um futuro mais sustentável e seguro para todos.

2 REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE FRUTAS

2.1 IMPORTÂNCIA DO REAPROVEITAMENTO: REDUÇÃO DE RESÍDUOS E SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

A rápida expansão da população mundial e do setor de processamento de alimentos está gerando uma quantidade massiva de resíduos orgânicos, especialmente no processamento de frutas e vegetais. Esses resíduos, como sementes, cascas e bagaços, são descartados devido à falta de tecnologia adequada, representando um problema econômico e ambiental. No entanto, a valorização de resíduos orgânicos ganhando destaque graças ao avanço de novas tecnologias e processos, permitindo a transformação desses resíduos em produtos de valor agregado, úteis para alimentos, biotecnologia, saúde e cosméticos, promovendo assim uma "bioeconomia circular" (Bisth *et al.*, 2023).

O desperdício de alimentos é um problema global e, ao mesmo tempo, uma oportunidade significativa para a conversão em produtos de valor agregado. A valorização do desperdício de alimentos está crescendo, focando na transformação de resíduos em novos produtos alimentícios. Este resíduo é gerado tanto em escala doméstica quanto industrial, devido ao processamento das diversas etapas da cadeia produtiva de alimentos, que inclui fabricação, manuseio, armazenamento, distribuição, cozimento e transporte de alimentos.

Os resíduos alimentares podem ser uma fonte rica de bioenergia e compostos bioativos, representando uma oportunidade para a conversão em produtos de alto valor agregado. A ciência da valorização de desperdício de alimentos está em expansão, buscando transformar esses resíduos em produtos valiosos, como fertilizantes orgânicos, ração animal, biocombustíveis e eletricidade a partir de resíduos alimentares, através de tecnologias inovadoras, contribuindo assim para a sustentabilidade e o aproveitamento econômico, sociais e ambientais (Baiano *et al.*, 2014; Pradhan *et al.*, 2023; Sarker *et al.*, 2024).

A inclusão diária de pelo menos cinco porções de frutas e vegetais na dieta é reconhecida por reduzir de forma significativa o risco de várias doenças crônicas e problemas relacionados ao envelhecimento. Frutas e vegetais são notáveis por suas propriedades benéficas para a saúde, em grande parte devido à presença de uma ampla gama de compostos bioativos. Esses compostos bioativos, que incluem metabólitos primários como proteínas, carboidratos (celulose, hemicelulose, lignina e pectina) e lipídios, são frequentemente encontrados em frutas e vegetais. Entre esses compostos es-

tão os fenólicos, terpenos, terpenoides, alcaloides, flavonoides e carotenos, que desempenham papéis cruciais na promoção da saúde e na prevenção de doenças crônicas como obesidade, diabetes, doenças cardiovasculares e o estresse oxidativo por terem propriedades antioxidantes, antibacterianas e anti-inflamatórias. (Sindhu *et al.*, 2019; Nig *et al.*, 2020; Mahato *et al.*, 2018). A eficácia desses compostos é determinada por sua bioatividade, estrutura química e a dosagem utilizada. (Prakash *et al.*, 2017; Pradhan *et al.*, 2023)

Nos últimos anos, a pesquisa tem se concentrado na conversão de resíduos alimentares em novos produtos com valor agregado, incluindo ingredientes comestíveis, alimentos funcionais, nutracêuticos, medicamentos e cosméticos. Esses estudos demonstram o potencial dos resíduos alimentares para não apenas minimizar o desperdício, mas também para contribuir para a inovação e sustentabilidade em diversos setores. (Živković *et al.*, 2018; Moorthy *et al.*, 2017; Quiles-Carrillo *et al.*, 2019).

Na tabela 1 foram fornecidas aplicações recentes das tecnologias na recuperação de compostos bioativos de resíduos de frutas.

Tabela 1: Recuperação de compostos de resíduos de frutas para alimentos nutracêuticos e funcionais.

Resíduos de frutas	Método de recuperação	Compostos recuperados	Referências
Casca de pitaya vermelha (<i>H. costaricensis</i>)	O extrato foi obtido por UAE a 500 W por 22 min, usando uma mistura de H ₂ O:EtOH (90:10, v/v) como solvente de extração e uma proporção sólido/líquido de 5 g/L.	Betacianina (48,3 ± 0,8 mg/g de extrato) Tocoferóis (15,93 ± 0,07 g/100 g DW) Ácido orgânico (2,65 ± 0,03 g/100 g DW)	Roriz <i>et al.</i> , 2022
Casca de pitaya vermelha (<i>H. undatus</i>)	Proporções de etanol (de 30 % a 60 %) em proporções de solvente/sólido (10:1-30:1), banho ultrassônico por 5-25 min a temperaturas de (30-70 °C).	Fenólicos (4.51–8.54 mg GAE/g) Betacianina (1.02–1.60 mg BCE/g)	Bhagya Raj e Dash, 2020
Cascas de romã	Emirados Árabes Unidos (80 °C, 25 min, concentração de etanol de 59 %, razão sólido-solvente de 1:44)	Ácido elágico (11,65 mg/g DW); ácido gálico (2,87 mg/g DW); punicalina (61,93 mg/g DW); punicalagina (18,05 mg/g DW)	Živković <i>et al.</i> , 2018
Casca de jaca	EAU (60 °C, 24 min, pH: 1,6, razão líquido-sólido de 15:1 mL/g)	Pectina (rendimento de 14,5 %)	Moorthy <i>et al.</i> , 2017
Casca de alfarroba	MAE (80 °C, 35 % (v/v) de etanol, uma proporção de 35 mL/g e 29,5 min)	Valor de TPC de 33,6 mg GAE/g DW	Quiles-Carrillo <i>et al.</i> , 2019
Casca de tangerina Satsuma	SCWE (130 °C, 15 min e razão soluto/solvente de 1/34)	Flavonóides (113,4 mg/g de casca); rendimento de 96,3 % usando planta piloto SCWE	Ko <i>et al.</i> , 2016)

continua...

Resíduos de frutas	Método de recuperação	Compostos recuperados	Referências
Bagaço de maçã liofilizado	SFE (30 MPa, 45 °C, 2 h e 5 % etanol)	Valor de TPC de 6,38 mg GAE/g; floretina, queracetina, miricetina, florizina, queritrina, hexosídeo de ácido ferúlico, epicatequina, ácido di-hidroxibenzoíco, catequina, ácido gálico e ácido p-OH benzoico	Ferrentino <i>et al.</i> , 2018
Cascas de manga	EAE + UAE (enzima alcalase 3,3 %, pH 5,5 a 63 °C por 110 min e 90 Watts)	Valor de TPC de 33,56 mg GAE/g de peso fresco; ácidos 4-hidroxi-3-metoxibenzoícos e ácido vanílico	Sharif <i>et al.</i> , 2021
Bagaço de maçã	EAE (Celluclast 1,5L na dose de 25, 50 e 75 µL/g de bagaço, 18 h a 50 °C e pH 4,5)	Pectina (recuperação máxima de até 18,95 % em doses maiores de enzima)	Wikiera <i>et al.</i> , 2015
Cascas de pera espinhosa vermelha	PEF (20 kV/cm, 50 pulsos, 24 kJ/kg) + SAE (55 min, temperatura ambiente, 250 rpm)	Betanina (50 mg/100 g de fruta fresca)	Koubaa <i>et al.</i> , 2016
Cascas de manga	PEF (13,3 kV/cm, 1000 kJ/kg, 2000 pulsos) + SAE (50 °C, pH 6, 3h)	Valor de TPC em torno de 2000 mg/kg; pectina	Parniakov <i>et al.</i> , 2016

Fonte: Elaborada pela autora.

- UAE, extração assistida por ultrassom; MAE, extração assistida por micro-ondas; SCWE, extração com água sub-critica; SFE, extração com fluido supercrítico; EAE, extração assistida por enzima; PEF, extração por campo elétrico pulsado; DW, peso seco; TPC, conteúdo fenólico total; BCE, equivalente de betacianina; SAE, extração aquosa suplementar.

Na tabela 2, são fornecidas as aplicações de compostos bioativos no desenvolvimento de alimentos funcionais.

Tabela 2: Aplicações de compostos bioativos recuperados de resíduos de frutas no desenvolvimento de alimentos funcionais.

Resíduos de frutas	Composto bioativo	Produto alimentar funcional	Resultados	Referências
Bagaço de uva; subprodutos de casca de tomate, brócolis e alcachofras	Compostos fenólicos totais, flavonoides totais e atividade antioxidante	Queijo Primosale	Propriedades nutricionais melhoradas; melhoria nas características sensoriais como friabilidade e adesividade	Costa <i>et al.</i> , 2018
Bagaço de framboesa	Compostos fenólicos totais, teor total de antocianinas, ácido elágico e elagitanino	Purê de frutas: (1) peras/maçãs/ameixas cereja amarelas; (2) maçãs/groselhas pretas	Amargor e adstringência com alta concentração de extrato; melhora no valor nutricional e potencial antioxidante; qualidade sensorial aceitável	Bobinaité <i>et al.</i> , 2016
Resíduos de maracujá e laranja	Fibra alimentar	Bolos	Características sensoriais e nutricionais promissoras; alto teor de fibras alimentares; riscos reduzidos de obesidade e diabetes	Oliveira <i>et al.</i> , 2016

continua...

Resíduos de frutas	Composto bioativo	Produto alimentar funcional	Resultados	Referências
Casca de romã	Fenólicos totais	Biscoitos de farinha de trigo	Propriedades antioxidantes significativas; inibiu o número de ácido tiobarbitúrico em 67%; reduziu o crescimento de contagens aeróbicas e leveduras/bolores	Ismail <i>et al.</i> , 2016
Bagaço de maçã	Atividade de eliminação de radicais, conteúdo total de fenólicos e flavonoides	Bolacha à base de arroz integral	Maiores propriedades antioxidantes, fibra alimentar total e minerais (cloro, potássio, fósforo e enxofre); alimento funcional para pacientes com doença celíaca	Mir <i>et al.</i> , 2017
Bagaço de uva	Conteúdo fenólico total, atividade de eliminação de radicais	Queijos semiduros e duros	Nenhuma diferença significativa na proteólise e contagens microbianas entre queijos fortificados e controle; alta atividade antioxidant	Marchiani <i>et al.</i> , 2016
Casca e polpa de laranja	Conteúdo fenólico total e atividade antioxidant	Suco de cenoura	Nenhum crescimento microbiano detectável; atividade antirradical melhorada	Adiamo <i>et al.</i> , 2018

Fonte: Elaborada pela autora.

3 PROCESSOS DE PRODUÇÃO: TRANSFORMAÇÃO DE CASCAS E OUTROS RESÍDUOS EM FARINHAS

Polpas e resíduos de frutas exóticas podem ser utilizados para produção de farinha. Essa estratégia aumenta a vida útil de diversas frutas e possibilita oferecê-las durante todas as estações do ano. Essas farinhas são importantes fontes de fibra alimentar e compostos antioxidantes naturais. Podem também ser adicionadas a produtos alimentícios, melhorando o perfil nutricional e agregando propriedades tecnológicas. O consumo de farinhas à base de frutas e seus resíduos pode contribuir para a promoção da saúde e prevenção de doenças crônicas.

A farinha feita de resíduos de frutas é uma alternativa inovadora e saudável às farinhas tradicionais. Ela é produzida a partir da secagem e moagem de frutas inteiras ou de seus subprodutos, como cascas e polpas. Esta farinha pode ser utilizada em uma variedade de aplicações culinárias, desde a fabricação de pães e bolos até o enriquecimento de vitaminas e iogurtes, proporcionando um sabor único e um valor nutricional elevado. Além disso, a farinha de resíduos de frutas contribui para uma alimentação mais equi-

librada e sustentável, aproveitando integralmente os nutrientes das frutas. Cave mencionar também, que as farinhas de subprodutos de frutas possuem importantes funcionalidades tecnológicas e podem ser utilizadas como ingredientes alimentares, nomeadamente como espessantes, agentes gelificantes, e agentes de retenção de água, bem como na produção de filmes comestíveis.

Essas farinhas são valiosas na indústria alimentícia, pois oferecem uma maneira sustentável de reutilizar resíduos de frutas, contribuindo para a redução de desperdícios e agregando valor aos subprodutos. Além de suas funcionalidades tecnológicas, as farinhas podem melhorar a qualidade nutricional dos alimentos, adicionando fibras, vitaminas e antioxidantes aos produtos finais a base de farinhas de resíduos.

Os compostos fenólicos de algumas farinhas à base de resíduos de frutas podem ser observados na tabela 3.

Tabela 3: Farinha de resíduos de frutas e os compostos bioativos

Farinha	Composto bioativo	Método analítico	Referências
Casca de jabuticaba	Compostos fenólicos totais, $30,24 \pm 1,37$ mg GAE/g peso seco	Folin–Ciocalteu	Gurak <i>et al.</i> , 2014
Casca de pequi (epicarpo e mesocarpo)	Compostos fenólicos totais, $17,42 \pm 0,53$ g GAE/100 g	Folin–Ciocalteu	Leão <i>et al.</i> , 2017
Casca de pitaya	Base úmida $18,14 \pm 5,06$ (μM Trolox/g amostra) Base seca $20,01 \pm 5,06$ (μM Trolox/g amostra)	Atividade Antioxidante	Zanchet <i>et al.</i> , 2020
Casca de pitaya	FRAP $49,30 \pm 0,10$ mmol FeSO ₄ equivalente/g de pó, TPC e TBC foram $454,79 \pm 18,72$ mg de ácido gálico equivalente/g de pó e $335,34 \pm 2,26$ mg de betanina equivalente/g de pó	Atividade antioxidante	Chumroenvidhayakul <i>et al.</i> , 2022
Resíduo de acerola	Teores de vitamina C (764,40 mg/100 g), carotenoides (23,93 µg/g), compostos fenólicos totais (28,46 mg GAE/100 g), atividade antioxidante pelo radical DPPH (EC ₅₀ 113,40 g de farinha/g DPPH) e ABTS (193,90 µmol/g de farinha).	Atividade antioxidante pelo radical DPPH, ABTS e vitamina C	Magalhães <i>et al.</i> , 2021

Fonte: Elaborada pela autora.

GAE, equivalente de ácido gálico, FRAP, poder antioxidante redutor férrico), DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazila), ABTS (3-etylbenzotiazolina-6-ácido sulfônico). conteúdo fenólico total (TPC), conteúdo total de betacianina (TBC).

4 MELHORIA TECNOLÓGICA DA FARINHA DE FRUTA PITAYA COM RADIAÇÃO IONIZANTE

A irradiação, que é um método tecnológico seguro para o processamento de alimentos, sendo utilizada para melhorar a segurança alimentar, prolongar o prazo de validade, inativar microrganismos e insetos, além de retardar o amadurecimento e a germinação dos frutos (Ravindran; Jaiswal, 2019). Neste contexto de segurança alimentar, a irradiação já é adotada por mais de cinquenta países como método de processamento sanitário e fitossanitário, abrangendo mais de sessenta alimentos e produtos alimentícios (Golding e Singh, 2020; Golding *et al.*, 2024).

Portanto, a irradiação é um processo tecnológico não térmico, mas apresenta maior versatilidade do que processos que utilizam calor, como pasteurização e esterilização, podendo ser utilizada em uma grande variedade de produtos secos, como temperos e condimentos, produtos com maior umidade, como em frutas, vegetais, tubérculos e aves. Uma grande vantagem da irradiação é sua utilização em vários tipos de produtos, independentemente da forma física dos produtos, sendo irradiados com ou sem embalagem (Ravindran; Jaiswal, 2019). A irradiação não torna os alimentos radioativos ou compromete a qualidade nutricional dos alimentos, nem causa alterações no sabor, textura ou aparência dos alimentos. As alterações causadas pela irradiação são tão mínimas que não é fácil saber se um alimento foi irradiado (Eustice, 2020).

A transformação dessas cascas em farinhas pode ser potencializada pela irradiação, que melhora suas propriedades físico-químicas, como textura, cor e valor nutricional. A irradiação pode aumentar a atividade antioxidante e a estabilidade dos compostos fenólicos, essenciais para a prevenção de doenças e promoção da saúde. Como exemplo, apresentamos neste capítulo estudos realizados com pitaya, fruta que tem ganhado popularidade no mercado brasileiro e apresenta muitos compostos benéficos à saúde. No caso das cascas de pitaya vermelha, a irradiação não apenas prolonga a vida útil do produto, mas também mantém ou até aumenta a concentração de antioxidantes, flavonóides e outros compostos bioativos (Rondan-Flores *et al.*, 2023; Santos, *et al.*, 2022).

Figuras 19 e 20: Casca da pitaya (*Hylocereus costaricensis*) e pitaya fresca para ser processada em farinha.



Fonte: Acervo da autora.

Essas farinhas irradiadas apresentam características que as tornam promissoras para diversas aplicações na indústria alimentícia e na saúde pública. Elas podem ser usadas como ingredientes funcionais em produtos de panificação, confeitaria, bebidas e suplementos alimentares, proporcionando benefícios adicionais à saúde devido às suas propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias. Além disso, a utilização de resíduos de frutas contribui para a sustentabilidade ambiental ao reduzir o desperdício e promover a economia circular.

Figura 21: Processamento da farinha de pitaya vermelha (*Hylocereus costaricensis*)

Fig. 21: (a) Fruta de pitaya vermelha, b) processo de extração da casca de pitaya, c) casca de pitaya vermelha para o processo de desidratação, d) casca de pitaya desidratada, e) moagem e seleção de grãos com diâmetro de 200 µm, e (f) farinha de casca de pitaya vermelha.

Na tabela 4 Compostos bioativos das farinhas irradiadas a base de resíduos frutas da pitaya.

Tabela 4: Efeitos e doses da irradiação em farinhas de fruta da pitaya

Resíduos de fruta (Casca)	Dose de irradiação (kGy)	Efeito da irradiação	Referência
Casca da pitaya vermelha (<i>Hylocereus costaricensis</i>)	1, 2 e 4	O uso da irradiação aumentou os níveis de vitamina C, compostos fenólicos, potencial antioxidante (FRAP) e em 55 % do nível lipídico (2 kGy).	Santos <i>et al.</i> , 2022
Casca de pitaya vermelha (<i>Hylocereus costaricensis</i>)	500 (Gy), 1, 2,5,10,20 e 30	A intensidade dos sinais de EPR aumenta com o aumento da dose de forma linear na faixa de 500 Gy a 20; doses acima de 20, os sinais de EPR saturam; e sinais de EPR induzidos por raios gama indica que 20 % da intensidade de EPR se desvanece nos primeiros 21 dias e depois se estabiliza.	Rondan-Flores <i>et al.</i> , 2023
Casca de pitaya vermelha (<i>Hylocereus costaricensis</i>)	1, 2 e 4	Não houve diferença estatística na cor. A análise FTIR não alterou significativamente os espectros da amostra.	Santos <i>et al.</i> , 2022
Casca de pitaya	400-600 (Gy)	Nenhum efeito na cor ou qualidade da polpa ou casca	Uthairatanakij <i>et al.</i> , 2018

Fonte: Elaborada pela autora.

- FRAP (poder antioxidante redutor férrego), EPR (ressonância paramagnética eletrônica), FTIR (Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier)

A utilização de casca de pitaya vermelha para a extração de compostos bioativos tem se mostrado promissora devido ao seu alto conteúdo de nutrientes e antioxidantes. Esse co-produto, que anteriormente era considerado um desperdício, agora pode ser valorizado, trazendo benefícios tanto para a saúde humana quanto para a sustentabilidade ambiental.

O processamento adequado desses resíduos, incluindo a irradiação, assegura que eles possam ser usados com segurança na alimentação, aproveitando seus benefícios nutricionais e aumentando sua vida útil. Essa técnica não apenas contribui para a redução de desperdícios, mas também para a criação de novos produtos alimentícios funcionais.

Portanto, a transformação dos resíduos de frutas e vegetais, como a casca de pitaya vermelha, em ingredientes valiosos, não só promove a saúde e a segurança alimentar, mas também representa um avanço significativo na gestão sustentável dos recursos alimentares. A irradiação, como método de conservação, desempenha um papel crucial nesse processo, permitindo que esses co-produtos sejam aproveitados de maneira eficaz e segura.

5 PITAYA: NUTRIENTES E BENEFÍCIOS PARA A SAÚDE HUMANA

Mundialmente o consumo de frutas exóticas tem atraído consumidores e entre eles está a pitaya vermelha (*Hylocereus costaricensis*) pertence à família das cactáceas, é considerada selvagem e é também conhecida como fruta dragão, oriunda das florestas tropicais da América Central e do Sul, Índia e Malásia, encontra-se num vasto grupo de frutas exóticas com bom potencial de comercialização (Hua et al., 2018). A pitaya é uma fruta de tamanho médio, pesando entre trezentos e seiscentos gramas, com casca de cor roxa ou amarela, dependendo da variedade, e uma casca brilhante escamosa, daí o nome de fruta dragão. Sua polpa é macia e ligeiramente doce, com uma coloração branca ou roxa, dependendo da variedade, e uma polpa cheia de pequenas sementes pretas.

Figuras 22 e 23: Pitaya no pé (*Hylocereus costaricensis*) e pitaya à venda para o consumidor



Fonte: Acervo da autora.

A pitaya é uma rica fonte de vários fito-constituintes como compostos fenólicos, pigmentos, terpenoides, ácidos graxos, flavonoides, vitaminas, açúcares, nutrientes e fibras dietéticas que são encontrados em suas partes comestíveis como a polpa e a semente e nas partes não comestíveis, ou seja, sua casca. Devido à presença desses diversos fito-constituintes, a fruta possui múltiplas atividades terapêuticas, como antioxidante, anti-cancerígena, antidiabética, antimicrobiana, anti-hiperlipidêmica, antiobesidade, hepatoprotetora, antianêmica, anti-inflamatória, antiviral, prebiótica e características de cicatrização de feridas.

A extração de fito-constituintes das diferentes partes da fruta é realizada usando técnicas como extração assistida por micro-ondas, extração assistida por ultrassom, extração com fluido supercrítico, extração enzimática aquosa, entre outras. Em países asiáticos, a pitaya tem sido usada como medicina popular para curar muitas doenças, por exemplo, para tratar hiperatividade, tosse, bronquite, tuberculose, caxumba e diabetes. Em Taiwan, a fruta tem sido utilizada como fonte de fibra dietética para pessoas diabéticas e como substituto do arroz.

A pitaya possui um forte potencial antioxidante, pois contém polifenóis, carotenoides, flavonoides, tocoferol e vitamina C. Os polifenóis são os principais responsáveis por essa atividade devido à sua capacidade de doação de hidrogênio para eliminar os radicais livres. A disponibilidade de

elétrons para combater os radicais livres leva à interrupção das reações em cadeia por meio da remoção de intermediários de radicais livres. Os polifenóis também são os principais constituintes na execução da atividade citotóxica. Tocoferóis, betalaínas, minerais, vitaminas e ácidos graxos insaturados também combatem o estresse oxidativo para manter o equilíbrio entre oxidantes e antioxidantes.

O crescente interesse pelo consumo da fruta pitaya devido às suas propriedades nutracêuticas e ao extenso conteúdo de fitoquímicos, especialmente compostos fenólicos, betacianina, vitaminas, minerais e terpenoides, atraiu a atenção de pesquisadores para explorar mais a aplicação desta fruta e seus subprodutos. A casca da fruta pode ser usada como agente antibacteriano, corante natural, antioxidante e fonte rica em pectina, enquanto a polpa da fruta é transformada em geleia, vinho, suco e amido em pó ou consumida fresca devido aos seus benefícios nutricionais. As sementes são uma boa fonte de óleo, que contém 50 % de ácidos graxos essenciais e são adicionadas como ingredientes em muitos produtos alimentícios, como xaropes, sorvetes, doces e iogurtes.

O corante alimentar natural betacianina encontrado na casca e na polpa da pitaya não é apenas utilizado em produtos alimentícios para melhorar a aparência, o sabor, a nutrição e a vida útil, assim como para potenciais aplicações em embalagens de alimentos e revestimentos comestíveis, mas também é amplamente utilizado nas indústrias cosméticas. Foi descoberto que o extrato de pitaya tem um potencial para ser um bom produto clareador de pele devido à presença de vitamina C e boa inibição da tirosinase. Além disso, pode ser adicionado como agente hidratante em protetores solares, proporcionando um alto valor fotoprotetor equivalente ao fator de proteção solar de produtos comerciais.

Adicionalmente, a utilização da pitaya e seus subprodutos pode contribuir significativamente para a redução de resíduos agroindustriais, promovendo a sustentabilidade. A transformação de subprodutos da pitaya em ingredientes funcionais e bioativos não apenas agrupa valor econômico, mas também contribui para a preservação ambiental e o desenvolvimento de novas tecnologias alimentares e medicinais.

Portanto, a pitaya não só se destaca pelo seu valor nutricional e propriedades benéficas à saúde, mas também como uma fonte promissora de compostos bioativos com diversas aplicações industriais e terapêuticas. O contínuo estudo e desenvolvimento das potencialidades desta fruta podem levar a descobertas inovadoras e soluções sustentáveis para várias indústrias.

REFERÊNCIAS

- BISHT, B. et al . A review on holistic approaches for fruits and vegetables biowastes valorization. **Materials Today: proceedings**, v. 73, Part 1, p. 54–63, 2023.
- CHUMROENVIDHAYAKUL, S.; THILAVECH, T.; ABEWARDENA, M.; ADISAKWATTA-NA, S. Investigating the Impact of Dragon Fruit Peel Waste on Starch Digestibility, Pasting, and Thermal Properties of Flours Used in Asia. **Foods**, [s.l.], v. 11, n. 14, p. 2.031, 2022.
- EUSTICE, R. F. Novel processing technologies: facts about irradiation and other technologies. In: **Genetically Modified and Irradiated Food**. [S.l.]: Academic, 2020. p. 269–286.
- GOLDING, J. B.; Uthairatanakij, Apiradee; Ornelas-Paz, José De Jesús; Prakash, Anuradha. Phytosanitary irradiation effects on fresh produce quality. **Review, Postharvest Biology and Technology**, v. 211, p. 112855, May 2024.
- GURAK, P. G.; DE BONA, I.; TESSARO, L.; MARCZAK, L. Jaboticaba pomace powder obtained as a co-product of juice extraction: a comparative study of powder obtained from peel and whole fruit. **Food Research International**, [s.l.], v. 62, p. 786–792, 2014.
- LEAO, D. A.; FRANCA, L.; OLIVEIRA, R.; BASTOS, M.; COIMBRA, M. Physicochemical characterization, antioxidant capacity, total phenolic and proanthocyanidin content of flours prepared from pequi (*Caryocar brasiliense Camb.*) fruit by-products. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 225, p. 146–153, 2017.
- MAGALHÃES, M. P. D.; GANDRA, K. M. B.; CUNHA, L. R.s da; LIMA, E. M.a F. Obtenção da farinha do resíduo do processamento de acerola e avaliação de compostos bioativos e nutritivos. **Research, Society and Development**, [s.l.], v. 10, n. 14, artigo e188101420714, 2021.
- NIG, H. S.; KEE, P. E.; YIM, H. S.; CHEN, P. T.; WEI, Y. H.; LAN, J. C. W. Recent advances on the sustainable approaches for conversion and reutilization of food wastes to valuable bioproducts. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 302, p. 122–889, 2020.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Os 17 objetivos**. [S.l.: s.n.], 2015. Disponível em: <https://sdgs.un.org/goals>.
- PRADHAN, Dileswar; McCARTHY, Bozena; STAPLETON, Kaye; JAISWAL, Swarna; JAISWAL, Amit K. Fruit and vegetable wastes for nutraceuticals, functional foods, and speciality chemicals. In: MANDAVGANE, Sachin A.; CHAKRAVARTY, Ipsita; JAISWAL, Amit K. (eds.). **Fruit and Vegetable Waste Utilization and Sustainability**. [S.l.]: Academic, 2023. Chapter 2: p. 21–41.

RONDAN-FLORES, L. M.; NEGRÃO, B. G.; BARREIRA, D. A. S.; CANO, N. F.; VILLAVICENCIO, A. L. C. H. Estudio de la cáscara de pitaya (Fruta del dragón) irradiadas con rayos gamma por Espectroscopía de Resonancia Paramagnética Electrónica (EPR). In: CONGRESO ARGENTINO DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 17., SIMPOSIO INTERNACIONAL DE NUEVAS TECNOLOGIAS, 9., 2023, Buenos Aires. *Anais [...]*. Buenos Aires: [s.n.], 2023. Disponível em: https://res.cloudinary.com/dykp8y7xy/image/upload/v1696357202/Trabajos_Orales_XVIII_CYTAL_2023.pdf. Acesso em: jun. 2025.

SANTOS, A. L. et al. Effect of gamma irradiation on the physicochemical, functional and bioactive properties of red pitaya (*Hylocereus costaricensis*) bark flour. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 199, p. 110–371, 2022.

SARKER, Aniruddha; AHMED, Raju; AHSAN, S. M.; RANA, Juwel; GHOSH, Mithun Kumar; NANDI, Rakhi. A comprehensive review of food waste valorization for the sustainable management of global food waste. *Sustainable Food Technology*, [s.l.], v. 2, n. 1, p. 48–69, 2024.

UTHAIRATANAKIJ, A.; CHOLMAITRI, C.; AIAMLA-OR, S.; JITAREERAT, P. Gamma irradiation as phytosanitary treatment for red flesh dragon fruit. *Acta Horticulturae*, [s.l.], v. 1210, p. 145–149, 2018.

ZANCHET, A., et al. Utilização de farinha de casca de pitaia vermelha (*Hylocereus undatus*) na substituição parcial de gordura em biscoito tipo cookie. In: VERRUK, Silvani (org.). *Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos*. Guarujá (SP): Científica Digital, 2020. v. 2, p. 483–502.

Processo de irradiação em resíduos agroindustriais

João Pedro de Azevedo Barros¹

O mundo enfrenta desafios significativos na gestão das vastas quantidades de matérias-primas geradas pela agricultura, aquicultura, silvicultura e pecuária, com estimativas de perdas de até 50 % ao longo das diversas etapas, desde a colheita até o consumo. Esses resíduos agroindustriais, devido à sua composição e degradabilidade mais lenta, frequentemente resultam em acumulação e impactos ambientais adversos. No entanto, eles também contêm concentrações consideráveis de compostos bioativos valiosos, sugerindo um potencial significativo para serem reincorporados em novas aplicações. A radiação ionizante emergiu como uma técnica promissora para o reaproveitamento de resíduos, destacando-se entre os métodos disponíveis devido à sua característica de tecnologia limpa, que não gera resíduos adicionais nem aumenta a temperatura durante o processamento, ao contrário dos métodos convencionais. Essa abordagem oferece uma nova perspectiva para o gerenciamento de resíduos, visando não apenas a redução do desperdício, mas também a criação de produtos de alto valor agregado com menor impacto ambiental. Desta forma, esse capítulo aborda as pesquisas mais recentes sobre o uso da energia nuclear como uma solução inovadora e viável para o reaproveitamento de resíduos agroindustriais. Ela examina os efeitos positivos e negativos dessa tecnologia na preservação nutricional e na disponibilidade de compostos bioativos, além de abordar a aceitação dessa tecnologia e a disseminação das informações sobre seus benefícios em alimentos e resíduos.

INTRODUÇÃO

Desde o advento dos raios X, pesquisadores avaliam a possibilidade de utilização da radiação ionizante para preservar e prolongar a vida útil de produtos alimentícios visando a segurança do alimento. A tecnologia de irradiação é um processo físico que envolve a exposição do alvo a um dos três tipos de energia ionizante: radiação gama, raios X e feixes de elétrons. As alterações provocadas pela irradiação nos produtos alimenta-

1 Pesquisa orientada pela Prof.^a Dr.^a Anna Lucia C. H. Villavicencio.

res são semelhantes às observadas no processamento geral de alimentos, como aquecimento, lavagem ou congelamento. Porém, como vantagem, a irradiação pode aumentar a vida útil dos produtos alimentícios preservando as características organolépticas e nutricionais. No entanto, o consumo de alimentos irradiados não era um conceito popular até que avanços significativos nas pesquisas forneceram evidências de seus benefícios e segurança, ampliando o leque de aplicações da tecnologia de irradiação para o fornecimento de resíduos nutricionalmente preservados para reutilização industrial, incorporação como ingrediente e desenvolvimento de novos produtos, contribuindo não só para a sustentabilidade do processo, mas também para agregar valor à matéria-prima (Madureira et al., 2020a).

Décadas de pesquisa acompanharam o uso da irradiação em alimentos, com suas vantagens superando algumas desvantagens. Agora, mais do que nunca, a ciência está a ser pressionada para desenvolver e aplicar processos de produção sustentáveis, um compromisso assinado por 163 países a ser alcançado até 2030. A Agenda 2030 elegeu dezessete Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) relacionados à concretização dos direitos humanos e à promoção do desenvolvimento sustentável nas suas dimensões social, econômica e ambiental, compromisso global assumido por 193 países (ONU, 2015).

Em vista da imensa pressão política, ambiental e social que a indústria alimentar enfrenta para se tornar sustentável e permanecer competitiva, tem-se buscados alternativas viáveis e que tragam benefícios para ambas as partes (indústria e meio ambiente). Os resíduos e subprodutos agroindustriais não fazem parte da cadeia de valor e podem impactar negativamente o meio ambiente. Porém, apesar de serem matérias-primas secundárias, são um recurso renovável com fitoquímicos valiosos como óleos essenciais, polifenóis e taninos, entre outros. A maioria desses compostos são bioativos, podem ser recuperados da matriz de biomassa e podem ser utilizados como agentes antioxidantes ou antimicrobianos. Tecnologias como a irradiação para segurança do alimento representam uma alternativa mais verde aos processos térmicos intensivos em energia, e esforços devem ser feitos para expandir seu uso e aceitação, a fim de evitar perdas econômicas significativas resultantes da perda ou contaminação de alimentos e o descarte inadequado de resíduos contendo substâncias próprias para consumo (Moreira; Castell-Perez, 2021).

Com base nas informações mencionadas anteriormente, esse capítulo destaca o crescente interesse no tratamento, reutilização e aplicação de resíduos agroindustriais que passaram por processo de irradiação, abor-

dando também o ponto de vista ambiental, social e económico. Além disso, destaca a energia nuclear como alternativa segura e a inovação tecnológica aliada à promoção do desenvolvimento sustentável.

1 EFEITOS DA IRRADIAÇÃO EM ALIMENTOS E RESÍDUOS

A radiação ionizante de raios gama é um dos meios mais eficientes para descontaminação de alimentos e resíduos. Uma vez absorvida por um material biológico, a radiação gama tem efeito direto e indireto no material que a recebe. O efeito direto decorre da interação direta da radiação com estruturas celulares essenciais, como DNA/RNA (mais pronunciado em estruturas de fita simples), proteínas e membranas. Isto não só perturba a função celular, mas também incapacita os microrganismos de se replicarem ou regenerarem. O efeito indireto, por sua vez, resulta da interação da radiação com o meio aquoso das células, gerando radicais livres altamente reativos, reação comumente conhecida como radiólise. Esses radicais livres irão interagir com os demais componentes celulares dos microrganismos, como as organelas presentes na matriz citoplasmática, causando danos generalizados que correspondem a 70 % de todos os efeitos da radiação. Como a irradiação pode ser aplicada em alimentos embalados, as possibilidades de reinfestação e recontaminação são limitadas (Tripathi *et al.*, 2023; Fanaro *et al.*, 2015; Moreira; Castell-Perez, 2021).

A irradiação é considerada um processo “frio” porque não envolve aumento significativo da temperatura das amostras irradiadas. A primeira vantagem conferida por esta propriedade é a possibilidade de tratar materiais resfriados, congelados ou sensíveis ao calor. Alimentos e produtos residuais que passam por processos de irradiação têm uma vida útil mais longa do que o processamento térmico, embora retenham seus sabores e aromas, que são diminuídos pelos métodos de processamento convencionais que empregam alguma forma de aquecimento. Por outro lado, os métodos de resfriamento, como o congelamento, têm a vantagem de causar alterações mínimas nas características sensoriais e nas propriedades nutricionais dos alimentos e resíduos; entretanto, quando comparados aos tratamentos térmicos, são considerados leves, pois seu impacto no aumento da vida útil é baixo. As alterações químicas nos alimentos irradiados são pequenas e poucas deficiências nutricionais foram relatadas; entretanto, algumas vitaminas são sensíveis à degradação irradiativa, como as vitaminas C, E, A e B12, embora, nas doses permitidas (até 10 kGy), essas reduções sejam pequenas em relação à variação natural do teor de vitaminas nestes alimentos. A tecnologia de irradiação, portanto, surge como

uma estratégia promissora ao aliar o aumento da vida útil à preservação nutricional dos alimentos e resíduos tratados. Também evita a dependência de métodos químicos, como aditivos alimentares, comumente utilizados em produtos industrializados (Kilcast, 1994; Nishihira, 2020).

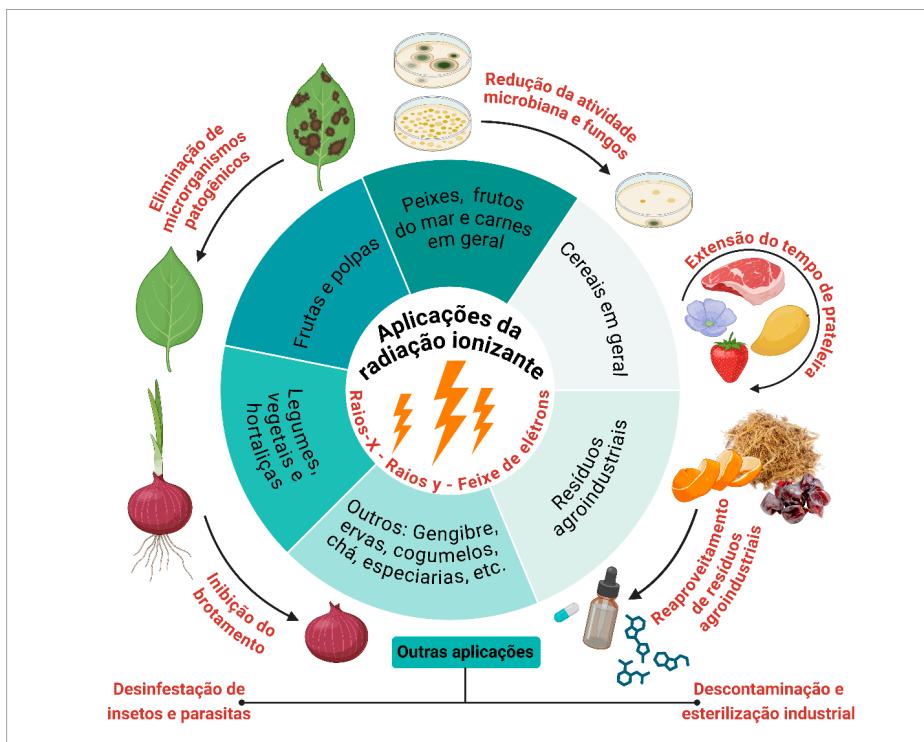
2 EXEMPLOS DE APLICAÇÕES NA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA

Vários estudos têm sido realizados sobre a utilização da irradiação em alimentos e resíduos, utilizando diferentes dosagens de acordo com os objetivos a que se destinam. No caso da irradiação de alimentos, são consideradas doses baixas aquelas até 1 kGy, doses médias de 1 a 10 kGy e doses altas acima de 10 kGy. Essa classificação corrobora com dados disponíveis na literatura, onde Ehlermann (2016) relatou que com doses baixas já é possível alcançar a segurança fitossanitária de frutas, hortaliças, grãos e cereais. Algumas dessas aplicações do processo de irradiação podem ser observadas na figura 24. Doses médias, por sua vez, proporcionam prolongamento do prazo de validade, inativação de bactérias patogênicas (em alguns produtos animais e vegetais) e melhorias nas propriedades tecnológicas dos alimentos. Por outro lado, altas doses são utilizadas em processos industriais de descontaminação e esterilização; porém, para alimentação, são bastante restritos, como refeições pré-preparadas, dietas hospitalares, dietas esterilizadas de astronautas e alguns temperos (Villavicencio, 2021; Sahoo *et al.*, 2022).

Estudos da literatura mostram que a maioria dos efeitos desejados nos alimentos, como inibição de brotação, atraso no processo de maturação, desinfecção de insetos e redução da carga microbiana, podem ser obtidos em doses baixas e médias-baixas de irradiação. A revisão elaborada por Xavier *et al.* (2018) apresenta uma lista de estudos sobre o controle de microrganismos em produtos de origem animal utilizando tecnologia de radiação. Além disso, o estudo de Štajner *et al.* (2007), relatou que doses médias de irradiação entre 1 e 10 kGy aumentaram significativamente o conteúdo total de fenólicos e taninos das sementes de soja. Também foi observado maior acúmulo de fenólicos e flavonóides na irradiação de cogumelos frescos, mas para algumas variedades não houve diferença significativa nestes compostos (Fernandes *et al.*, 2012). Enquanto doses maiores são utilizadas principalmente em produtos desidratados, o que se justifica pela interação das moléculas de água com a radiação ionizante, levando à formação de radicais livres e interações/reacções com o material irradiado prejudiciais ao consumo. Fanaro *et al.* (2015), em estudo com chá

verde, verificaram que existe uma relação proporcional entre o aumento da atividade de água e a diminuição da dose de irradiação necessária para reduzir a contaminação microbiológica, sem interferir no teor dos principais flavonóides e na atividade antioxidante em doses de até 5,0 kGy.

Figura 24: Aplicações da radiação ionizante na indústria alimentícia



Fonte: Ilustração do autor.

Conforme destacado na literatura, a irradiação de alimentos oferece vantagens significativas na redução da carga microbiológica e na extensão da vida útil dos produtos, preservando suas propriedades organolépticas e nutricionais. Além disso, a aplicação da irradiação como tecnologia para melhorar as qualidades nutricionais tem sido explorada, podendo ser estendida aos resíduos agroindustriais. Estes subprodutos, como cascas, polpas, sementes e caroços, frequentemente contêm concentrações mais elevadas de compostos bioativos do que as partes comestíveis dos produtos primários. Por exemplo, os compostos fenólicos são encontrados predominantemente nos subprodutos devido à sua função na proteção contra radiação UV, acumulando-se nos tecidos dérmicos das plantas (Babbar

et al., 2015; Ben-Othman *et al.*, 2020). A seguir, serão apresentados os principais estudos sobre resíduos agroindustriais e os impactos da tecnologia de radiação ionizante nos processos de despolimerização, biodisponibilidade e extração de compostos bioativos.

3 COMPOSTOS BIOATIVOS EM RESÍDUOS AGROINDUSTRIALIS

Os resíduos agroindustriais da indústria alimentícia são ricos em compostos bioativos (elementos nutricionais extras, como compostos fenólicos, carotenóides, prebióticos, probióticos, fibras, vitaminas e minerais, entre outros). Esses compostos têm potencial para serem utilizados em alimentos funcionais, nutracêuticos, aditivos alimentares e também encontram aplicação nas indústrias farmacêutica, química e cosmética. Além disso, cada um desses compostos tem sua importância e função no organismo, mas os compostos mais extensivamente estudados são os fenólicos, um dos mais diversos e extensos grupos de metabólitos, com uma rica família de fitoquímicos divididos em diversas subclasses: flavonóides, ácidos fenólicos, cumarinas, estilbenos e taninos. Estes compostos atuam como agentes quimiopreventivos e inibidores do estresse oxidativo; entretanto, não estão presentes em abundância na dieta regular e precisam ser consumidos principalmente de fontes vegetais (raízes, caules, folhas, flores e frutos) porque contribuem com propriedades antioxidantes, antimicrobianas, antitumorais e anti-inflamatórias. Os carotenóides são compostos notáveis pela sua ampla distribuição natural, diversas estruturas químicas e funções variadas. Exemplos são alfa-caroteno, beta-caroteno, luteína, zeaxantina e licopeno. Embora sejam micronutrientes, presentes em níveis muito baixos, os carotenóides estão entre os constituintes alimentares mais importantes por serem substâncias bioativas com ação antioxidante, efeitos benéficos no combate a doenças e também precursores da vitamina A (Madureira *et al.*, 2020a).

Embora não exista um método ideal para extrair esses compostos, as tecnologias de radiação ionizante demonstraram melhorar o rendimento de extração de compostos bioativos de alguns resíduos, uma alternativa promissora para a quebra de compostos complexos em compostos bioativos que são facilmente assimiláveis, facilitando sua absorção pelo corpo e, consequentemente, sua biodisponibilidade e bioacessibilidade quando consumidos. Na última década, vários estudos foram publicados sobre a extratibilidade e melhoria das propriedades bioativas de compostos químicos em alimentos irradiados e resíduos agrícolas, permitindo sua incorpo-

ração em produtos alimentícios e contribuindo para o desenvolvimento de alimentos funcionais (Madureira et al., 2020a; Levy; Villavicencio, 2020).

4 RADIAÇÃO IONIZANTE EM RESÍDUOS AGROINDUSTRIALIS

A implementação da utilização de substâncias extraídas de resíduos agroindustriais na alimentação humana requer avaliação criteriosa de seus efeitos quando absorvidos pelo organismo. Testes *in vitro* de genotoxicidade e citotoxicidade definem se um composto bioativo extraído de um resíduo pode ser assimilado de forma segura e eficiente pelo organismo e então utilizado para consumo. Além disso, os resíduos precisam passar por pré-tratamentos que visam reduzir a carga microbiana para garantir a segurança e reduzir a perecibilidade sem perder as propriedades nutricionais. Apesar disso, os métodos convencionais de pré-tratamento, como secagem e lavagem, afetam negativamente a presença e quantidade de compostos bioativos (Sagar et al., 2018; et al., 2024). Neste contexto, a radiação ionizante tem se destacado como uma técnica promissora dentre os recursos atualmente disponíveis. Mais de 60 países em todo o mundo possuem regulamentações que permitem a irradiação de produtos para consumo humano (AIEA, 2023).

Desta forma, essa técnica permite diversas aplicações, contribuindo significativamente para a sustentabilidade e valorização desses resíduos. As principais aplicações desses resíduos incluem a produção de farinhas, bagaço, cápsulas, cascas, talos, folhas, extratos e pós, que podem ser utilizados em diversas indústrias, como a alimentícia e farmacêutica. A seguir, algum dos principais estudos utilizando o processo de irradiação com o intuito de aperfeiçoar processo e aumentar o valor agregado dos produtos, abordando os principais efeitos nos compostos.

Para casca da amêndoia (*Prunus amygdalus*), Harrison e Were (2007) relataram que a irradiação de extratos de casca de 4 a 12,7 kGy aumentou o conteúdo fenólico total e a atividade antioxidante em até 45 % em comparação com o controle não irradiado. No mesmo ano, o trabalho de Pérez et al. (2007) mostraram aumento de 35 % no teor de compostos fenólicos em extratos de folhas secas de alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.) irradiados a 30 kGy em comparação com amostras controle não irradiadas. Amílcar et al. (2011) avaliaram a influência da irradiação gama no potencial antioxidante de frutos e cascas de castanhas (*Castanea sativa* Mill.), apontando efeito benéfico independente da dose utilizada ($0,27 \pm 0,04$ kGy ou $0,54 \pm 0,04$ kGy) (Antonio et al., 2011). Folhas de Curcuma

alismatifolia (*Zingiberaceae*) tratadas com radiação gama aumentaram o conteúdo fenólico total em 32,7 % (15 kGy) e 51,4 % (20 kGy), enquanto para flavonóides totais houve aumento de 29,8 % (15 kGy) e 78,3 % (20 kGy) (Taheri *et al.*, 2014).

Khattak e Rahman (2016) avaliaram o efeito da radiação ionizante sobre alguns atributos de qualidade e propriedades biológicas de folhas de *Ziziphus mauritiana*. Os resultados mostraram que o tratamento com 12,5 kGy de radiação gama levou a maior concentração de compostos bioativos, principalmente fenólicos e flavonóides, além de melhorar as propriedades biológicas das folhas, como atividade antibacteriana e antioxidante (Khattak; Rahman, 2016). O bagaço de maçã é uma fonte atraente de compostos fenólicos. O trabalho de Ito *et al.* (2017) revelaram que a irradiação da farinha de bagaço de maçã a 1 kGy foi capaz de aumentar a extratibilidade de compostos fenólicos individuais e totais, bem como o potencial antioxidante.

Madureira *et al.* (2020b) relataram que doses de até 22 kGy no bagaço de azeitona melhoraram em 2,4 vezes a capacidade de extração dos principais compostos fenólicos presentes na matriz. Porém, observou-se que a dosagem de 10 kGy apresentou maior quantidade de compostos fenólicos totais. Este resultado pode ser justificado devido ao processo de despolimerização que auxilia na extratibilidade, revelando que há um limite na aplicação da dose irradiada para preservação dos compostos. Bashir *et al.* (2017) relataram que o tratamento com radiação gama de farinha de trigo integral e amido resultou na modificação de suas propriedades físico-químicas, como diminuição dos parâmetros de pasta, aumento da estabilidade de congelamento-descongelamento, solubilidade em água e capacidade de absorção de água em comparação aos tratamentos enzimáticos e químicos.

Apesar dos estudos demonstrarem aumento na quantidade de compostos bioativos e melhoria na qualidade geral do produto, alguns autores não detectaram tais fenômenos em doses de até 5 kGy, mas apenas que a irradiação conservou tais compostos, evitando possível degradação, o que é ainda considerado um benefício atrativo no processo de conservação e preservação. Sultão *et al.* (2018) não observaram aumento na concentração de antocianinas totais em amostras de farelo de arroz irradiado na dosagem de 2,5 kGy. Resultado semelhante foi obtido por D'Angelis (2020), em que a composição nutricional, bem como a concentração de compostos bioativos, atividade antioxidante e propriedades tecnológicas das farinhas integrais de sorgo irradiadas não foram aumentadas na dosagem aplicada

de 5 kGy, porém, sua qualidade foi mantida sem causar alterações nos macronutrientes e micronutrientes presentes. As diferentes aplicações da irradiação em resíduos agroindustriais e a faixa de dosagem são mencionadas no quadro 2.

Quadro 2: Aplicações, doses e efeitos da irradiação em resíduos agroindustriais

Resíduo agroindustrial	Dose (kGy)	Principais efeitos	Referências
Casca de pistache	10, 20, 30, 40, 50, e 60	Redução do teor de taninos e da atividade antioxidante dos extratos, mas aumentou o teor de fenólicos totais.	Behgar <i>et al.</i> , 2011
Semente de lótus	2,5, 5, 7,5, 10, 15, e 30	Aumento significativo de cinzas (>10 kGy) e carboidratos (30 kGy), com aumento de fenólicos e taninos totais.	Bhatt; Sridhar, 2008
Semente de damasco	6 e 9	Aumento do índice de acidez e espectro de absorção de cor em óleo extraído de semente de damasco exposta a doses de 9 kGy.	Al-Bachir; Koudsi, 2019
Casca de pitaya vermelha	1, 2, e 4	Melhora no teor de vitamina C, capacidade antioxidant e compostos fenólicos totais.	Santos <i>et al.</i> , 2022
Casca de amendoim	2,5 e 5	O tratamento melhorou a atividade antioxidante da fração fenólica livre e as cascas foram microbiologicamente seguras para consumo.	Camargo <i>et al.</i> , 2015
Bagaço de azeitona	5, 10, 16 e 22	Melhora a extratibilidade de compostos em pelo menos 2 vezes. Aumento da atividade antioxidante no bagaço de azeitona.	Madureira <i>et al.</i> , 2020b

Fontes: Elaborado pelo autor.

Além dos resíduos mencionados no quadro 2, outros estudos já foram realizados com casca de banana (*Musa acuminata*), semente de uva (*Vitis vinifera*) e bagaço da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). As doses utilizadas nesses estudos ficaram entre 0,2 e 20 kGy, mas para bagaço da cana-de-açúcar são utilizadas doses mais elevadas, entre 5 e 2000 kGy. Esses resultados, e as diversas aplicações da radiação ionizante em resíduos agroindústrias, refletem a importância do uso dessa técnica para o reaproveitamento de subprodutos que podem aumentar o valor agregado e ainda contribuir para sustentabilidade.

Estudos mais recentes, com o uso da radiação ionizante em resíduos agroindustriais, com o objetivo de reaproveitamento, melhoria e aperfeiçoamento de processos estão sendo desenvolvidos. Durante a produção de azeite de abacate, tanto a casca, quanto a semente são descartados

logo de início, somente a polpa é utilizada para a extração do azeite. Após a extração, um novo resíduo é gerado, a polpa que sofreu o processo de extração. Apesar de ser um resíduo do processo, esses componentes apresentam grandes quantidades de compostos bioativos, ácido graxos benéficos, vitaminas e minerais, dentre outros. Quando utilizado a radiação ionizante nesses resíduos, foi observado um aumento da capacidade de extração de compostos bioativos da casca, semente e polpa de abacate (após a extração do azeite). Para as amostras irradiadas, houve melhora na quantidade de compostos fenólicos totais para os três resíduos analisados, mas com diferentes níveis de impactos, resultado da suscetibilidade à irradiação e das características de cada resíduo. Resultado similar também foi observado para atividade antioxidante, mas que para algumas vias (ABTS e FRAP) não houve diferença significativa entre o irradiado e não irradiado (Barros *et al.*, 2024).

Outro estudo em andamento, também visando o reaproveitamento de resíduos agroindustriais, proveniente do processamento do café, como palha e casca (Figura 25), apresentam uma grande quantidade compostos, além da ótima capacidade antioxidante. Isso reflete diretamente os benefícios do reaproveitamento de resíduos agroindústrias, uma vez que muitos dos compostos estão normalmente presentes nas cascas das frutas e legumes. Com o auxílio do processo de irradiação, foi observado melhora significativa no teor de compostos fenólicos, ABTS, FRAP e ORAC, tanto na casca, quanto na palha do café. Além disso, o rendimento de extração para palha e casca sem irradiação não apresentou diferença significativa, mas observa-se que a dose de 5 kGy proporcionou aumento na extratibilidade do composto, tal efeito também pode ser justificado pelos efeitos físicos da irradiação na estrutura dos compostos. Sendo assim, a utilização de resíduos agroindustriais, como casca e palha de café, como matéria-prima para obtenção de extratos ricos em compostos bioativos com ação antioxidante, é uma estratégia promissora que pode ser ainda potencializada com o uso de radiação ionizante. Além disso, a utilização de casca e palha de café ajuda a reduzir a quantidade de resíduos agroindustriais e agrega valor a esse resíduo específico, aumentando as possibilidades de aplicação em outras áreas.

Em geral, a influência da irradiação nos compostos bioativos e na capacidade antioxidante dos alimentos pode depender de vários fatores, incluindo a dose de radiação aplicada, o tipo de alimento, a natureza dos compostos bioativos presentes e as condições de armazenamento pós-irradiação, dentre outros. Devido à complexidade da relação entre os efeitos da radiação ionizante e os compostos presentes, são necessários

mais estudos específicos para melhor e compreender esses efeitos, além de otimizar o uso da irradiação para preservar e melhorar a qualidade nutricional dos alimentos.

Figura 25: Resíduos agroindústrias do café: palha (A) e casca (B).



Fonte: Acervo do autor.

CONCLUSÕES

A irradiação é uma técnica de processamento de alimentos e resíduos não térmica, não química, ambientalmente limpa e energeticamente eficiente, usada para prolongar a vida útil de alimentos frescos ou processados, evitando a contaminação com microrganismos prejudiciais e, ao mesmo tempo, preservando as propriedades organolépticas e nutricionais. Nas últimas décadas, o uso da radiação ionizante se expandiu em vários países para desinfestação de pragas, redução da carga microbiana em produtos agrícolas e carnes, inibição de brotações e, mais recentemente, revelou-se uma técnica promissora para aplicação aos resíduos agroindustriais, ao permitir a extração de importantes compostos bioativos que podem ser utilizados em novas formulações, contribuindo não só para agregar valor à matéria-prima, mas também para a sustentabilidade do processo, evitando descarte, acúmulo e impacto ambiental negativo. Apesar de possuir grande potencial na agroindústria, a aplicação da irradiação ionizante no processamento de produtos destinados

ao consumo ainda é subestimada. Várias décadas de pesquisa têm se esforçado para determinar as vantagens versus poucas desvantagens de submeter materiais alimentares à radiação, o que resultou em vários organismos internacionais, como a OMS, AIEA, FAO e FDA, certificando que a irradiação de alimentos é um método de processamento seguro, para o ambiente e para a saúde humana. Ainda assim, para chegar ao consumidor comum, é fundamental que os governos e a mídia exerçam mais confiança nos produtos irradiados para que esta tecnologia ganhe maior aceitabilidade na sociedade moderna.

Além de preservar e/ou aumentar a quantidade de compostos presentes e a atividade antioxidante nos resíduos, a irradiação também apresenta outras vantagens que destacam ainda mais essa tecnologia. Portanto, a tecnologia de radiação ionizante é uma opção muito interessante para o gerenciamento e reaproveitamento de resíduos agroindustriais, mas ainda é um processo que requer mais investigação para analisar os efeitos da irradiação sobre esses resíduos e identificar as melhores doses de irradiação que permitem o melhor aproveitamento uso desses extratos de resíduos

■ REFERÊNCIAS

- AL-BACHIR, M.; KOUDSI, Y. Some characteristics of oil extracted from gamma irradiated apricot (*Prunus armeniaca L.*) kernels. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies* [s.l.], v. 25, n. 1, p. 24–30, 2019.
- ANTONIO, A. L.; FERNANDES, A.; BARREIRA, J. C. M.; BENTO, A.; BOTELHO, M. L.; FERREIRA, I. C. F. R. Influence of Gamma Irradiation in the Antioxidant Potential of Chestnuts (*Castanea Sativa Mill.*) Fruits and Skins. *Food and Chemical Toxicology: an international journal published for the British Industrial Biological Research Association*, [s.l.], v. 49, n. 9, p. 191–823, 2011. DOI: 10.1016/j.fct.2011.02.016.
- BABBAR, N.; OBEROI, H. S.; SANDHU, S. K. Therapeutic and nutraceutical potential of bioactive compounds extracted from fruit residues. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, [s.l.], v. 55, n. 3, p. 319–337, 2015. DOI: 10.1080/10408398.2011.653734.
- BASHIR, K.; SWER, T. L.; PRAKASH, K. S.; AGGARWAL, M. Physico-chemical and functional properties of gamma irradiated whole wheat flour and starch. *LWT-Food Science and Technology*, [s.l.], v. 76, p. 131–139, 2017. DOI: 10.1016/j.lwt.2016.10.050
- BEHGAR, M.; GHASEMI, S.; NASERIAN, A.; BORZOIE, A.; FATOLLAHI, H. Gamma radiation effects on phenolics, antioxidants activity and in vitro digestion of

pistachio (*Pistacia vera*) hull. *Radiation Physics and Chemistry*, [s.l.], v. 80, n. 9, p. 963–967, 2011. ISSN 0969–806X. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2011.04.016>.

BEN-OTHMAN, S.; JÔUDU, I.; BHAT, R. Bioactives from agri-food wastes: Present insights and future challenges. *Molecules*, [s.l.], v. 25, n. 3, p. 510, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules25030510>.

BHAT, R.; SRIDHAR, K. R. Nutritional quality evaluation of electron beam-irradiated lotus (*Nelumbo nucifera*) seeds. *Food Chemistry*, [s.l.], v. 107, n. 1, p. 174–184, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.08.002>.

CAMARGO, A. C.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B.; GALLO, C. R.; SHAHIDI, F. Gamma-irradiation induced changes in microbiological status, phenolic profile and antioxidant activity of peanut skin. *Journal of Functional Foods*, [s.l.], v. 12, p. 129–143, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.10.034>.

D'ANGELIS, D. F. Análises físicas-químicas, microbiológicas e sensoriais de leites fermentados com potencial probiótico adicionados de farinhas integrais de sorgo irradiadas. 2020. 141 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2020.

EHLMERMAN, D. A. E. Particular Applications of Food Irradiation: Meat, Fish and Others. *Radiation Physics and Chemistry*, [s.l.], v. 129, p. 53–57, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2016.07.027>.

FANARO, G. B.; HASSIMOTTO, N. M. A.; BASTOS, D. H. M.; VILLAVICENCIO, A. L. C. H. Effects of γ -radiation on microbial load and antioxidant properties in green tea irradiated with different water activities. *Radiation Physics and Chemistry*, [s.l.], v. 107, p. 40–46, 2015. DOI: [10.1016/j.radphyschem.2014.09.008](https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2014.09.008)

FERNANDES, A.; ANTONIO, A. L.; BEATRIZ, M. OLIVEIRA, P. P.; MARTINS, A.; FERREIRA, I. C. F. R. Effect of gamma and electron beam irradiation on the physico-chemical and nutritional properties of mushrooms: a review. *Food Chemistry*, [s.l.], v. 135, p. 2, p. 641–650, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.04.136>.

HARRISON, K.; WERE, L. Effect of Gamma Irradiation on Total Phenolic Content Yield and Antioxidant Capacity of Almond Skin Extracts. *Food Chemistry*, [s.l.], v. 102, n. 3, p. 932–37, 2007. DOI: [10.1016/j.foodchem.2006.06.034](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.06.034).

ITO, V. C.; ZIELINSKI, A. A. F.; AVILA, S.; SPOTO, M.; NOGUEIRA, A.; SCHNITZLER, E.; LACERDA, L. G. Effects of Gamma Radiation on Physicochemical, Thermo-gravimetric, Microstructural and Microbiological Properties during Storage of Apple Pomace Flour. *LWT–Food Science and Technology*, [s.l.], v. 78, p. 105–113, 2017. DOI: [10.1016/j.lwt.2016.12.016](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.12.016).

- KHATTAK, K. F.; RAHMAN, T. U. Effect of gamma irradiation on the vitamins, phytochemicals, antimicrobial and antioxidant properties of *Ziziphus mauritiana* Lam. leaves, *Radiation Physics and Chemistry*, [s.l.], v. 127, p. 243–248, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2016.07.001>.
- KILCAST, D. Effect of irradiation on vitamins. *Food chemistry*, [s.l.], v. 49, n. 2, p. 157–164, 1994. DOI:10.1016/0308-8146(94)90152-X.
- LEVY, D. S.; VILLAVICENCIO, A. L. C. H. Food Irradiation: Communication Strategies to Bridge the Gap Between Scientists and the Public. In: INAC 2019: International Nuclear Atlantic Conference. Nuclear new horizons: fueling our future. *Proceedings* p. 2.046–2.055, 2020.
- MADUREIRA, J.; BARROS, L.; VERDE, S. C.; MARGAÇA, F. M. A.; SANTOS-BUELGA, C.; FERREIRA, I. C. F. R. Ionizing Radiation Technologies to Increase the Extraction of Bioactive Compounds from Agro-Industrial Residues: a review. *J. Agric. Food Chem.*, [s.l.], v. 68, 40, p. 11054–11067, 2020a. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c04984>.
- MADUREIRA, J. et al. The use of gamma radiation for extractability improvement of bioactive compounds in olive oil wastes. *Science of The Total Environment*, [s.l.], v. 727, 138706, 2020b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138706>.
- MOREIRA, R. G.; CASTELL-PEREZ, M. E. Fundamentals of food irradiation. *Innovative Food Processing Technologies*, [s.l.], p. 1–18, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815781-7.00008-1>.
- NISHIHIRA, J. Safety of irradiated food. In Genetically Modified and Irradiated Food. Academic, p. 259–267, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817240-7.00016-4>.
- PÉREZ, M. B.; CALDERÓN, N. L.; CROCI, C. A. 2007. Radiation-Induced Enhancement of Antioxidant Activity in Extracts of Rosemary (*Rosmarinus Officinalis* L.). *Food Chemistry*, [s.l.], v. 104, n. 2, p. 585–592, 2007. DOI: 10.1016/j.foodchem.2006.12.009.
- SAGAR, N. A.; PAREEK, S.; SHARMA, S.; YAHIA, E. M.; LOBO, M. G. Fruit and vegetable waste: bioactive compounds, their extraction, and possible utilization, *Compreh. Rev. Food Sci. Food Safety*, [s.l.], v. 17, n. 3, p. 512–531, 2018. DOI: 10.1111/1541-4337.12330.
- SAGAR, N. A.; PATHAK, M.; SATI, H.; AGARWAL, S.; PAREEK, S. Advances in Pre-treatment Methods for the Upcycling of Food Waste: a sustainable approach. *Trends in Food Science & Technology*, [s.l.], p. 1–24, 2024. DOI:10.1016/j.tifs.2024.104413.

SAHOO, M.; ARADWAD, P.; PANIGRAHI, C.; KUMAR, V; NAIK, S. Irradiation of food. *Novel Technologies in Food Science*, p. 333-373, 2022. DOI: 10.1002/9781119776376.ch9

SANTOS, A. L.; MORAIS, R. A.; SOARES, C. M. S.; VELLANO, P. O.; MARTINS, G. A. S.; DAMIANI, C.; SUZA, A. R. M. Effect of gamma irradiation on the physicochemical, functional and bioactive properties of red pitaya (*Hylocereus costaricensis*) bark flour. *Radiation Physics and Chemistry*, [s.l.], v. 199, p. 1-25, 110371, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2022.110371>.

ŠTAJNER, D.; MILOŠEVIĆ, M.; POPOVIĆ, B. M. Irradiation Effects on Phenolic Content, Lipid and Protein Oxidation and Scavenger Ability of Soybean Seeds. *International Journal of Molecular Sciences*, [s.l.], v. 8, n. 7, p. 618-627, 2007.

TAHERI, S.; ABDULLAH, T. L.; KARIMI, E.; OSKOUEIAN, E.; EBRAHIMI, M. Antioxidant capacities and total phenolic contents enhancement with acute gamma irradiation in Curcuma alismatifolia (Zingiberaceae) leaves. *International Journal of Molecular Sciences*, [s.l.], v. 15, n. 7, p. 13.077-13.090, 2014. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms150713077>.

TRIPATHI, J.; SAXENA, S.; GAUTAM, S. Simulation study to assess the effectiveness of gamma radiation for inactivation of viruses on food packaging material. *Radiation Physics and Chemistry*, [s.l.], v. 204, p. 110-678, 2023. DOI: 10.1016/j.radphyschem.2022.110678 .

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Transformando Nossa Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustent%C3%A1vel>. Acesso em: 29 jun. 2024.

VILLAVICENCIO, A. L. C. H. Irradiação de alimentos. In: Khoury, H. J.; LEVY, D. *Investigando as aplicações da radioatividade: curiosidades sobre diferentes áreas de atuação para inspirar professores e jovens pesquisadores*. São Paulo: Recanto das Letras, 2021, p. 164.

XAVIER, M. M. B. B. S.; FRANCO, R. M.; SOUZA, M. C. L.; DUQUE, S.; ESTEVES, W. T. C. Implications of the use of irradiation in the processing of animal origin foods: review. *Journal of bioenergy and food science*, [s.l.], v. 5, n. 4, p. 131-144, 2018. DOI:10.18067/jbfs.v5i4.257.

FLORES COMESTÍVEIS

Amanda Cristina Ramos Koike¹

INTRODUÇÃO

O mercado de Plantas Alimentícias Não-Convencionais (PANC's), com destaque para as flores comestíveis é um nicho em expansão no Brasil e no mundo, devido ao crescente uso de flores na gastronomia, traduzindo-se em aumento de variedades e crescimento econômico.

O termo PANC's se refere às espécies vegetais que podem servir de alimento, entretanto não fazem parte da nossa alimentação diária e não são tipicamente disponibilizadas no varejo e comércio.

A alimentação à base de plantas é uma opção para hábitos mais saudáveis, com preparações variadas e sustentáveis e a natureza nos oferece de forma espontânea muitas plantas. Nesse sentido, as plantas alimentícias conhecidas como não convencionais surgem com o objetivo de contribuem na diversidade alimentar.

As flores comestíveis são amplamente exploradas pela indústria de alimentos, no desenvolvimento de chás florais, corantes alimentícios, aromas, bebidas, produtos de panificação ou pela comercialização *in natura* no varejo.

Além disso, há interesse em relação ao valor nutricional, visto que os alimentos à base de plantas são atualmente considerados uma maneira de incorporar os conceitos de saúde na dieta. O setor de fabricação de alimentos com base em plantas está atualmente em expansão através do desenvolvimento de produtos inovadores usando flores comestíveis.

As flores comestíveis são utilizadas em preparações culinárias com a finalidade de adicionar beleza, aroma, cor e sabor por centenas de anos. Em diversos lugares do mundo, usá-las como alimento é uma antiga tradição. Atualmente, esse tipo de aplicação na culinária tem como objetivo melhorar a qualidade sensorial, entretanto, diversas espécies possuem substâncias biologicamente ativas, as quais desempenham importante papel na manutenção da saúde.

¹ Pesquisa orientada pela Prof.^a Dr.^a Anna Lucia C. H. Villavicencio.

Observa-se, cada vez mais, flores em refeições como ingredientes em saladas, pratos quentes, bebidas e sobremesas. O foco principal é a alta gastronomia, atraindo a atenção de *gourmets* e *chefs*, desfrutando de espaço garantido em restaurantes sofisticados e bufês, tratando-se de um nicho de alto padrão no mercado nacional e internacional.

1 HISTÓRICO

Há evidências históricas da aplicação de flores na alimentação pelos romanos, chineses e povos do Médio Oriente. As flores de laranjeiras e roseiras são muito utilizadas desde a antiguidade no Médio e Extremo Oriente e as flores de *courgette* recheadas são apreciadas como entrada na região mediterrânea há muito tempo.

O uso de águas florais na gastronomia é datado da Idade Média, sendo à flor de laranjeira e a de rosa as mais utilizadas. A atualmente as flores e águas florais são usadas na gastronomia do Oriente Médio, Índia e do Leste Europeu, onde suas preparações culinárias normalmente são aromatizadas, desde carnes ao café.

Em várias partes do mundo, como na França, na Itália e na Ásia, a utilização de flores na alimentação é uma antiga tradição, existindo em diversas formas, cores e sabores. São consumidas pela população, visando valorizar as qualidades sensoriais e nutricionais dos alimentos.

No século XVII, as flores comestíveis começaram a desempenhar um papel importante na culinária, sendo utilizadas na forma cristalizada, para decoração em compotas, geleias, licores e outros produtos. Por exemplo, o clássico licor verde *Chartreuse*, de origem francesa, utiliza como ingrediente pétalas de cravo.

As flores são utilizadas na culinária para melhorar os atributos sensoriais das preparações gastronômicas tais como cor, aroma e sabor. Geralmente, as espécies comestíveis são utilizadas na preparação de molhos, guarnições, saladas, produtos de panificação, geleias, xarope, mel, vinagre, azeite, chás, açúcares de flores, flores cristalizadas, flores congeladas em cubos de gelo, adicionadas a queijos, panquecas, crepes e *waffles*. Contudo, algumas são incorporadas em vinhos e licores aromatizados, sendo que as espécies maiores, como a de abóbora, podem ainda ser recheadas e fritas.

A adição de flores nas preparações culinárias como a capuchinha, roseira, lavanda, jasmim, laranjeira e alfazema podem transmitir um delicado aroma a geleias, licores, compotas, sorvetes, infusões, cremes e vinhos, enquanto outras, como o gerânio e crisântemo proporcionam cor aos pratos estimulando o paladar, uma vez que são pobres em aroma.

2 CARACTERÍSTICAS DE ALGUMAS FLORES COMESTÍVEIS

2.1 AMOR-PERFEITO - *VIOLA TRICOLOR* (L.)

Pertence à família das violáceas, conhecida popularmente como amor-perfeito, erva-da-trindade e violeta-de-três cores, sendo originária da Europa e da Ásia. As flores são pequenas e delicadas, com tonalidade azul, amarelo, roxo, róseo ou branco, tendo, às vezes, os tons combinados numa mesma flor. O amor-perfeito possui textura aveludada e sabor refrescante, o que permite que seja utilizado em doces, bolos, saladas, sopas, vinagres, bebidas (licores, ponches e vinhos), cubos de gelo, permitindo também obter o corante comestível azul e amarelo.

Figura 26: *Viola tricolor* e *Tropaeolum majus*.



Fonte: Acervo da autora

2.3 BORAGO – *BORAGO OFFICINALIS* (L.)

Pertence à família Boraginacea, conhecida popularmente como flor estrela, borragem, é uma planta nativa da região do Mediterrâneo. As suas flores são pequenas e têm o formato de estrela, com tonalidade azul brilhante com o centro roxo. A sua característica marcante é a camada de pelos que recobre toda planta. Possui sabor semelhante ao pepino e, normalmente, é utilizada em saladas e sopas.

2.4 CALÊNDULA – *CALENDULA OFFICINALIS* (L.)

Pertence à família Asteraceae, conhecida popularmente como boas-noites, maravilha e calêndula. É uma planta originária da região centro-sul da Europa e da Ásia. As flores são de coloração alaranjada, semelhantes a margaridas, porém, com um número maior de pétalas, podendo ser simples ou dobradas. As partes da planta utilizadas na culinária são as folhas e pétalas, sendo estas usadas em saladas, sopas, manteigas, arroz, frango e bebidas, sendo muitas vezes adicionadas aos pratos em substituição do açafrão.

2.5 CAPUCHINHA – *TROPAEOLUM MAJUS* (L.)

Pertence à família Tropaeolaceae e é originária do Peru e México. As flores possuem formato de cálice vistoso, de tonalidade do amarelo claro ao vermelho, passando pelo alaranjado. É uma das flores comestíveis mais conhecidas, tendo um sabor apimentado que pode substituir o agrião ou a mostarda nas saladas e preparações culinárias; também é utilizada em empanadas, omeletes e suflês.

2.6 CRAVINA – *DIANTHUS CHINENSIS* (L.)

Pertence à família Caryophyllaceae, nativa da Ásia e da Europa, conhecida popularmente como cravina ou cravínia. As flores são achatadas e podem ser simples ou dobradas, com tons de branco, rosa, roxo e vermelho ou bicolores.

As pétalas têm um sabor apimentado e são usadas em saladas, sandes, geleias, tartes e na aromatização de vinagre e vinho. As pétalas desta planta são um dos ingredientes secretos do célebre licor francês *Chartreuse*.

2.7 CRAVO AMARELO – *TAGETES PATULA* (L.)

Pertence à família Asteraceae, originária das Américas, conhecido popularmente como cravo amarelo, cravo de defunto e cravo-africano. Possui flores de coloração amarela ou laranja com tonalidades amarronzadas e detalhes mais avermelhados. As flores podem ser classificadas de duas formas: flores externas e internas. O sabor característico é cítrico e pode ser aplicada indústria alimentícia como corante natural de sucos, molhos de saladas e sorvetes e em preparações culinárias como saladas, sopas e produtos de panificação.

Figura 27: *Dianthus chinensis* e *Tagetes patula*

Fonte: Acervo da autora.

2.8 FEIJÃO-BORBOLETA – *CLITORIA TERNATEA* (L.)

Pertence à família Fabaceae, originária da Ásia, conhecido popularmente como ervilha-borboleta, feijão-borboleta e cunhã. Suas flores são pequenas e delicadas com coloração azul e possui um sabor neutro. Em preparações gastronomicas é utilizada como corante natural em produtos de panificação e confeitoraria, arroz, risotos, doces, bebidas e sorvetes.

2.9 GERÂNIO – *PELARGONIUM HORTORUM* (L.)

Pertence à família Geraniaceae, originária da África do Sul e conhecida popularmente como gerânio ou pelargônio. As flores podem ser simples ou dobradas e a sua coloração varia do branco ao carmim escuro, podendo ser bicolor e a floração ocorre o ano todo, principalmente no verão.

As flores frescas podem ser usadas em saladas, tortas, bolos e doces em geral, além de aromatizar vinagre e bebidas.

2.10 JAMBU – *ACMELLA OLERACEA* (L.)

Pertence à família Asteraceae, originária da América do Sul, conhecida popularmente como flor de jambu, agrião do Pará, agrião do Brasil e agrião do Norte. As flores são pequenas com coloração amarela e possui sabor picante, proporciona uma leve dormência na boca e a substância espirantol, presente na sua composição, é responsável pelo efeito anestésico, sendo utilizada em preparações gastronômicas como o tacacá, o pato no tucupi e até mesmo em bebidas (cachaça).

Figura 28: *Clitoria ternatea* e *Acemella oleracea*

Fonte: Acervo da autora

2.11 LAVANDA – *LAVANDULA ANGUSTIFÓLIA* (L.)

Pertence à família Lamiaceae, originária do Mediterrâneo, conhecido popularmente conhecido popularmente como lavanda, alfazema, lavanda francesa e lavanda inglesa. Suas flores são pequenas e delicadas, com coloração azul ou violeta e com sabor doce e leve e possui o poder de aromatizar. Aplicadas na gastronomia em doces, confeitaria, saladas de frutas, sorvetes, vinagre e bebidas.

3 IMPORTÂNCIA DA IDENTIFICAÇÃO DA ESPÉCIE

Nem toda flor é comestível e algumas são, inclusive, tóxicas, pois possuem na sua composição princípios tóxicos que são perigosos para o homem e não devem ser consumidas. Além disso, as que podem ser consumidas são produzidas de forma diferente em relação à produção de plantas ornamentais.

As comestíveis são cultivadas em ambiente protegido (estufas), com clima, irrigação e solo controlados constantemente, sem o uso defensivo agrícola ou fertilizante, sendo colhidas totalmente abertas durante o dia após o orvalho. Cerca de cem espécies são identificadas como comestíveis, entre elas: amor-perfeito, calêndula, capuchinha, cravina, gerânio, rosa, borago, lavanda, feijão azul; flor de mel; bergamota e tagete.

As flores utilizadas na alimentação não são as que se adquirem em floristas, *garden centers* ou viveiros, uma vez que é necessária a contribuição de produtores especializados e confiáveis, que respeitem os

processos adequados ao cultivo de alimentos, pois existem espécies que possuem princípios tóxicos e não devem ser utilizadas na alimentação humana, como exemplo a azaleia, lírio, copo-de-leite, violeta-africana, entre outras.

Em relação as espécies comestíveis, é importante destacar que nem todas as partes das flores podem ser utilizadas como alimento. Geralmente são usadas as pétalas, removendo-se caule; sépalas (estruturas foliáceas, normalmente menores e mais consistentes do que as pétalas); pistilos (conjunto de órgãos femininos) e estames (órgão masculino).

4 PROPRIEDADES BIOATIVOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

As flores comestíveis são também uma fonte de compostos químicos que apresentam atividade antioxidante como polifenóis, tocoferóis, carotenoides e antocianinas, responsáveis por efeitos benéficos à saúde, incluindo a inibição do risco de doenças degenerativas, doenças cardiovasculares e atividade anti-inflamatória.

O teor de polifenóis presentes nas flores comestíveis, exibe uma elevada correlação com a sua atividade antioxidante; de fato, esta atividade tem sido atribuída à presença de diversos compostos fenólicos nomeadamente, ácido gálico, kaempferol, queracetina, apigenina e ácidos clorogênicos.

As diferentes cores presentes nas espécies de flores comestíveis refletem os diversos tipos de carotenoides e antocianinas presentes na sua composição química, estando os teores de antocianinas associados aos níveis de flavonoides, logo, à atividade antioxidante.

A atividade antioxidante e os compostos fenólicos, presentes nas flores comestíveis, proporcionam diversos benefícios à saúde humana. A importância da ingestão de alimentos que apresentem substâncias com potencial antioxidante para a prevenção de doenças crônicas como as cardiovasculares, câncer e doenças degenerativas tem sido demonstrada.

Devido às propriedades nutricionais e quimioprotetoras, as flores comestíveis podem ser classificadas como fonte de nutracêuticos utilizadas frequentemente na nossa alimentação humana.

No entanto, as flores comestíveis são alimentos altamente perecíveis e sua alta perecibilidade requer armazenamento em pequenos recipientes de plástico em ambientes refrigerados, o que é um custo adicional na cadeia comercial. Tratamentos que prolongam a vida útil e garantem a segurança desses produtos podem ser alternativas para minimizar esses problemas.

Vários métodos são aplicados pela indústria de alimentos para aumentar o prazo de validade de alimentos perecíveis, além de garantir qualidade e segurança. O tratamento por radiação ionizante pode ser a resposta para esses problemas, garantindo a qualidade dos alimentos, aumentando a vida útil, a segurança dos alimentos e a desinfestação de alimentos.

Na preservação de alimentos, o processo de irradiação tem demonstrado ser uma ferramenta eficaz para aumentar significativamente a vida útil dos alimentos, reduzir perdas, garantir a segurança do alimento e preservação de produtos frescos, assim como tratamento quarentenário, uma vez que as flores destinadas ao consumo humano precisam de estar livres de insetos e doenças, assim como de pesticidas e defensivos agrícolas.

5 PROCESSAMENTO POR RADIAÇÕES IONIZANTES

A irradiação de alimentos é uma alternativa segura, limpa, eficaz na conservação e aumento da vida útil dos alimentos. Esta tecnologia nos proporciona uma forma versátil para obter alimentos de boa qualidade, reduzindo as perdas pós-colheita. Além disso, o processamento pode ser considerado eficaz em relação aos tratamentos químicos usados atualmente no processamento de alimentos por não gerar resíduos, podendo ser usado para tratar uma grande variedade de alimentos.

A irradiação de alimentos é um processo que consiste na exposição do alimento às radiações ionizantes. O processamento por radiação pode ser utilizado na desinfestação, conservação de produtos alimentícios, na inibição do brotamento de tubérculos e raízes, no prolongamento da vida de prateleira e na redução da contaminação por microrganismos em alimentos.

O processo de irradiação de alimentos é recomendado por diversas autoridades como a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO),² Organização Mundial de Saúde (OMS), União Europeia (UE) e a Agência Americana para os Alimentos e Medicamentos (FDA), fazendo parte ainda das normas do *Codex Alimentarius*, um guia de padrões internacionais para os alimentos processados ou naturais por considerarem que a irradiação de qualquer produto alimentar não apresenta quaisquer riscos toxicológicos para o consumidor.

Estudos sobre o processamento por radiação como método alternativo e inovador para conservação e ampliação da vida de prateleira das flores comestíveis demonstraram que o processo de irradiação combinado

2 Food and Agriculture Organization.

com a refrigeração, método utilizado convencionalmente na preservação das flores, possibilita duplicar a vida de prateleira preservando as características ideais para seu consumo.

Em relação à composição química das flores comestíveis, com destaque aos compostos fenólicos, os estudos apontaram uma maior conservação dos compostos fenólicos nas amostras irradiadas em relação as não irradiadas.

Baseados nos estudos desenvolvidos, o processo de irradiação tem se mostrado uma tecnologia viável para conservação da qualidade de flores comestíveis, oferecendo também a possibilidade de sua aplicação no prolongamento da vida de prateleira.

REFERÊNCIAS

- CREASY, R. *The Edible Flowers Garden*. Boston: Periplus, 1999.
- FARKAS, J. Irradiation for better foods. *Trends in Food Science e Technology*, [s.l.], v. 17, p. 148-152, 2006.
- FARKAS, J., MOHÁCSI-FARKAS, C. History and future of food irradiation. *Trends in Food Science & Technology*, [s.l.], 20, 1-6, 2011.
- FELIPPE, G. M. *Entre o jardim e a horta: as flores que vão para a mesa*. 2. ed. São Paulo: Senac, 2004.
- FERNANDES, L.; CASAB, S.; PEREIRA, J. A.; SARAIVA J. A.; RAMALHOZA, E. Edible flowers: a review of the nutritional, antioxidant, antimicrobial properties and effects on human health. *Journal of Food Composition and Analysis*, [s.l.], v. 60, p. 38-50, 2017.
- FU, M. R.; MAO, L. C. *In vitro antioxidant activities of five cultivars of daylily flowers from China*. *Natural Product Research*, [s.l.], v. 22, p. 584 -591, 2008.
- GARZÓN, G. A.; WROLSTAD, R. E. Major anthocyanins and antioxidant activity of Nasturtium flowers (*Tropaeolum majus*). *Food Chemistry*, [s.l.], n. 114, p. 44-49, 2009.
- GEGNER, L. Edible Flowers. The National Sustainable Agriculture Information Service. 2004. Disponível em: <https://fr.scribd.com/document/243526816/Edible-Flowers>. Acesso em: 3 out. 2024.
- IKRAM, E. H. K. et al. Antioxidant capacity and total phenolic content of Malaysian underutilized fruits. *Journal of Food Composition and Analysis*, [s.l.], n. 22, p. 388-393, 2009.
- JAURON, R.; BEIWEL, J.; NAEVE, L. The ancient Romans cultivated roses [...] *Edible Flowers*, [s.l.], RG 302, 2013. Disponível em: <https://store.extension.iastate.edu/Product/rg302-pdf>. Acesso em: 02 jun. 2014.

JELLIN, J. M.; GREGORY, P. J.; BATZ, F.; HITCHENS, K. **Natural Medicines Comprehensive Database.** 5. ed. Stockton (CA): Therapeutic Research Faculty, 2003.

KELLEY, K. M.; CAMERON, A. C.; BIERNBAUM, J. A.; POFF, K. L. Effect of storage temperature on the quality of edible flowers. **Postharvest Biology and Technology**, [s.l.], n. 27, p. 341-344, 2003.

KINUPP, V. F.; LORENZI, H. **Plantas Alimentícias Não-Convencionais (PANC) no Brasil:** guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas. Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2021.

KOIKE, A. C. R.; ARAUJO, E. S.; NEGRAO, B. G.; MURADIAN, L. B. A.; Villavicencio, Anna L. C. H. Analysis of carotenoids in edible flowers of *Dianthus chinensis* processed by ionizing radiation. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, [s.l.], v. 9, p. 1-10, 2021.

KOIKE, A. C. R; BARREIRA, J. C.M.; BARROS, L.; SANTOS-BUELGA, C.; VILLAVICENCIO, A. L. C. H.; FERREIRA, I. C. F. R. Edible flowers of *Viola tricolor* L. as a new functional food: Antioxidant activity, individual phenolics and effects of gamma and electron-beam irradiation. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 179, p. 6-14, 2015.

KOIKE, A. C. R; BARREIRA, J. C.M.; BARROS, L.; SANTOS-BUELGA, C.; VILLAVICENCIO, A.L.C.H.; FERREIRA. Irradiation as a novel approach to improve quality of *Tropaeolum majus* L. flowers: Benefits in phenolic profiles and antioxidant activity. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, [s.l.], v. 30, p. 138-144, 2015.

MLCEK, J.; ROP, O. Fresh edible flowers of ornamental plants – A new source of nutraceutical foods. **Trends in Food Science & Technology**, [s.l.], v. 22, p. 561–569, 2011.

NEWNAM, S. E.; O'CONNOR, A. S. **Edible Flowers**, [s.l.], n. 7.237, 2009. Disponível em: <http://www.ext.colostate.edu/pubs/garden/07237.html>.

ROP, O.; MLCEK, J.; JURIKOVA, T.; NEUGEBAUEROVA, J.; VABKOVA, J. A New Promising Source of Mineral Elements in Human Nutrition. **Molecules**. **Edible Flowers** [s.l.], n. 17, p. 6.672– 6.683, 2012.

SOARES, C. B. L. V. **O Livro de Ouro das Flores**. Rio de Janeiro: Ediouro, 2002.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Wholesomeness of Food Irradiated with doses above 10 kGy.1999. Relatório Técnico.

XAVIER, A. A. O.; MERCADANTE, A. Z. The bioaccessibility of carotenoids impacts the design of functional foods. **Current Opinion in Food Science**, [s.l.], n. 26, p.1-8, 2019.

Este caderno foi composto com as famílias das fontes
Dosis, Ubuntu Sans Condensed e Niramit
Impressão: capa em cartão supremo 250g/m² e miolo em Ap 80g/m²
Impresso no Brasil - outubro 2025

