

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENERGIA NUCLEAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS ENERGÉTICAS E
NUCLEARES

HELDER SANTOS DE FIGUEIRÊDO

**EFEITOS DA RADIAÇÃO GAMA EM COMPOSTOS GLICOALCALÓIDES E
FENÓLICOS DE VEGETAIS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA.**

Recife
2021

HELDER SANTOS DE FIGUEIRÊDO

**EFEITOS DA RADIAÇÃO GAMA EM COMPOSTOS GLICOALCALÓIDES E
FENÓLICOS DE VEGETAIS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Tecnologias Energéticas e Nucleares. Área de concentração: em Aplicações de Radioisótopos na Indústria e Medicina.

Orientadora: Profa. Dra. Edvane Borges da Silva

Coorientadora: Profa. Dra. Ivanesa Gusmão Martins Soares

Recife

2021

Catálogo na fonte:
Bibliotecário Carlos Moura, CRB-4 / 1502

F475e Figueirêdo, Helder Santos de.
 Efeitos da radiação gama em compostos glicoalcalóides e fenólicos de vegetais:
 uma revisão sistemática. / Helder Santos de Figueirêdo. – 2021.
 54 f.: il.

 Orientadora: Profa. Dra. Edvane Borges da Silva.
 Coorientadora: Profa. Dra. Ivanesa Gusmão Martins Soares.

 Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa
 de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, 2021.
 Inclui referências.

 1. Engenharia nuclear. 2. Fenólicos. 3. Glicoalcalóides. 4. Irradiação gama.
 5. Vegetais. I. Silva, Edvane Borges da (orientadora). II. Soares, Ivanesa Gusmão
 Martins (coorientadora). III. Título.

621.48 CDD (22. ed.)

UFPE
BCTG/2022-88

HELDER SANTOS DE FIGUEIRÊDO

**EFEITOS DA RADIAÇÃO GAMA EM COMPOSTOS GLICOALCALÓIDES E
FENÓLICOS DE VEGETAIS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Tecnologias Energéticas e Nucleares. Área de concentração: em Aplicações de Radioisótopos na Indústria e Medicina.

APROVADO EM: 30/08/2021

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Ana Maria Mendonca de Albuquerque Melo
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof. Dr. Liderlânio de Almeida Araújo (Examinador Externo)
Colégio Imaculado Coração de Maria - CICM

Dra. Laury Francis Costa (Examinador Externo)
Faculdade de Goiana - FAG

Dedico este trabalho a minha avó **Rita Maria do Nascimento Santos**
(*In Memoriam*)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao Todo Poderoso, ao Criador de Todas as Coisas, por toda coragem, garra e luz que me auxiliou a não desistir.

À minha família, minha mãe Marlene, meu Pai Edmilson e meu irmão José Everton, por toda força, incentivo e apoio em todos os momentos da minha vida.

À minhas amigas-irmãs Júlia Laurindo, Magda Kerolyne e Luana Andreia que sempre me deram incentivo e animação quando necessário. As luzes de vocês me iluminam. Amo muito vocês.

À uma pessoa muito importante a quem meu coração bate forte, que sem ele os meus dias seriam mais difíceis de serem vividos, John Malerson.

Às minhas orientadoras, Doutora Edvane Borges e Doutora Ivanesa Gusmão, por aceitarem me guiar nesta jornada e por serem nos momentos certos, amigas.

Aos meus colegas do DEN, Thâmara Mota, Denise Schio, Paulo Victor e Samuel Lima que, direta ou indiretamente acrescentaram na minha jornada acadêmica, com a amizade, com as ideias e principalmente com a companhia.

Ao DEN, desde os guardas de segurança até o coordenador do programa.

À doutora Aline Antas Cordeiro Cavalcanti (UFCEG), que sem seus abençoados conhecimentos e conselhos a respeito da revisão sistemática eu não teria conseguido dar o pontapé inicial deste trabalho.

A capital Recife, que me recebeu de braços abertos, lugar que aprendi a admirar e amar.

À luz da doutrina Espírita, que me resguardou e me ensinou a ter mais discernimento e paciência em tudo na vida.

Agradeço a todos que me apoiaram e incentivaram, direta ou indiretamente, durante esse período acadêmico do Mestrado.

Peço desculpas aos que aqui não mencionei.

RESUMO

Dois compostos importantes podem ser observados entre alimentos vegetais: os glicoalcalóides e os fenólicos. O primeiro tendo algumas ações tóxicas no organismo humano e a segunda sendo compostos que possuem potencial farmacológico, agindo como antioxidantes e anti-inflamatórios e na prevenção de doenças. Concomitantemente a isso, estudos estão sendo realizados a fim de utilizar a radiação gama como método de conservação de alimentos, possuindo um abrangente acervo acerca da temática. Com isso, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma revisão sistemática dos trabalhos disponíveis na literatura que utilizaram como processo de conservação de alimentos de origem vegetal a radiação gama e, dando especial ênfase na ação da radiação sobre os compostos fitoquímicos glicoalcalóides e fenólicos e suas consequências sobre a saúde humana. Utilizando-se 5 plataformas de busca, e dos seguintes descritores em inglês “gamma irradiation”, “glycoalkaloids”, “phenolic” e “vegetables”, onde também se usou termos booleanos AND e OR, e para facilitar o processo de triagem e seleção foi usado o gerenciador bibliográfico Mendeley®. Os resultados apontaram que estudos com compostos fenólicos eram mais abrangente comparados com estudos com compostos glicoalcalóides. Nas pesquisas avaliadas, as doses de radiação gama variaram de 0,005 a 30 kGy para irradiação de diferentes amostras. Constatou-se que a radiação gama foi ineficaz para alterar a composição de glicoalcalóides nas variedades de batatas analisadas. No entanto, para fenólicos, a radiação apresentou efeitos em praticamente todos os vegetais avaliados, independentemente se a parte vegetal avaliada fosse sementes ou frutos.

Palavras-chave: fenólicos; glicoalcalóides; irradiação gama; vegetais.

ABTRACT

Two important compounds can be observed among plant foods: glycoalkaloids and phenolics. The first one having some toxic actions in the human body and the second one being compounds that have pharmacological potential, acting as antioxidants and anti-inflammatory and preventing diseases. Concomitantly, studies are being carried out in order to use gamma radiation as a method of food preservation, having a comprehensive collection on the subject. Thus, this study aimed to carry out a systematic review of the works available in the literature that used gamma radiation as a process for preserving plant foods and, with special emphasis on the action of radiation on glycoalkaloid and phenolic phytochemical compounds and their consequences on human health. Using 5 search platforms, and the following descriptors in English "gamma irradiation", "glycoalkaloids", "phenolic" and "vegetables", which also used Boolean terms AND and OR, and to facilitate the screening and selection process the Mendeley® bibliographic manager was used. The results showed that studies with phenolic compounds were more comprehensive compared to studies with glycoalkaloid compounds. In the evaluated researches, gamma radiation doses ranged from 0.005 to 30 kGy for irradiation of different samples. It was found that gamma radiation was ineffective to change the composition of glycoalkaloids in the analyzed potato varieties. However, for phenolics, radiation had effects on practically all evaluated vegetables, regardless of whether the evaluated plant part was seeds or fruits.

Keywords: phenolics; glycoalkaloids; gamma irradiation; vegetable.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1	Compostos glicoalcalóides	12
2.2	Compostos fenólicos	15
2.3	Uso da radiação ionizante no tratamento de alimentos.....	17
2.4	Legislação da irradiação de alimentos	20
2.5	Efeitos da radiação gama em vegetais	22
3	METODOLOGIA	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5	CONCLUSÃO	44
	REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

Os componentes dos alimentos são classificados em nutrientes e não nutrientes, cada um com funcionalidades diversas no organismo humano. Os nutrientes são utilizados para produção de energia, enquanto os não nutrientes exibem uma variedade de funções biológicas essenciais para a homeostase humana. Alimentos vegetais (frutas, legumes, verduras, frutas e grãos inteiros) contêm grandes quantidades de fitoquímicos não nutritivos benéficos à saúde, atuantes na prevenção de inflamações crônicas, doenças cardiovasculares e alguns tipos de câncer (GIOXARI *et al.*, 2016).

Dentre os componentes não nutritivos, dois compostos importantes podem ser observados entre alimentos vegetais: os glicoalcalóides e os fenólicos. Os glicoalcalóides são compostos metabólitos sintetizados em estruturas vegetais da família *Solanaceae* que agem como mecanismo de defesa contra animais, insetos, micro-organismos, fungos e também de estresse provocado pelo excesso de chuva, sol, poluentes atmosféricos e substâncias tóxicas no solo (WANG *et al.*, 2019).

As maiores concentrações de glicoalcalóides são encontradas em batata (*Solanum tuberosum*), sendo α -solanina e α -chaconina os glicoalcalóides predominantes. A concentração máxima segura desses compostos em batata *in natura*, para consumo humano, é estimada em $200\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, expressa como glicoalcalóides totais (GAT). Quando acumulados em altos níveis no organismo humano, estes compostos são tóxicos, causando fatores antinutricionais que podem afetar a absorção de nutrientes pelo organismo e, em altas concentrações, podem provocar patologias graves (FRIEDMAN *et al.*, 2017).

Estes compostos podem ter duas ações tóxicas no organismo humano: uma sobre a acetilcolinesterase, afetando o sistema nervoso central e membranas celulares do trato gastrointestinal com danos hemolíticos, hemorrágicos e excesso de fluido nas cavidades corpóreas (FRIEDMAN, 2006); e a outra uma possível responsabilidade no aumento do risco de aparecimento dos cânceres do cérebro, pulmões, mama e da tireóide (KORPAN *et al.*, 2004).

Os compostos fenólicos ou polifenóis são metabólitos secundários sintetizados abundantemente no reino vegetal, visto sua presença em frutos, sementes, flores, cascas e folhas dos vegetais.

Estes compostos possuem potencial farmacológico, agindo como antioxidantes e anti-inflamatórios e na prevenção de doenças, estando amplamente distribuídos no reino vegetal, desde molécula simples, como ácidos fenólicos (derivados de ácidos benzoico e cinâmico), flavonóides, cumarinas, até moléculas com alto grau de polimerização como os taninos (ARRUDA *et al.*, 2019).

Existem mais de 8.000 estruturas conhecidas, que variam entre fenólicos simples, como os ácidos fenólicos, aos mais complexos, como os taninos. Assim como os glicoalcalóides, esses compostos atuam principalmente como agentes de defesa em resposta a estresses causados aos frutos e vegetais, conferindo-os adstringência, coloração, sabor e aroma (GIOXARI *et al.*, 2016).

Um dos processos utilizados para conservação de alimentos, assim como a minimização de perdas é a irradiação, tratamento físico, que submete os alimentos às doses controladas de radiações ionizantes, gerada a partir de radiação gama emitida, predominantemente do radioisótopo cobalto-60, com finalidade de assegurar produtos vegetais e perecíveis, promovendo eficácia na preservação e prolongamento da vida útil, melhora na qualidade microbiológica, desinfecção de insetos e redução de perdas no armazenamento e exportação (NÓBREGA, 2017; SANTOS; AMARAL; SILVA, 2018).

Estima-se que mundialmente o volume de alimentos tratados por radiação ionizante, exceda 500.000 toneladas/ano. O processo de irradiação de alimentos no Brasil segue as exigências da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) e, internacionalmente, a FAO (*Food and Agriculture Organization*), OMS (Organização Mundial da Saúde), IAEA (*International Atomic Energy Agency*), EU (União Europeia), FDA (*Food and Drug Administration*) e o Codex Alimentarius (CHANG; ALASALVAR; SHAHIDI, 2016; LORO; BOTTEON; SPOTO, 2018).

Pesquisas realizadas em vários países, incluindo o Brasil, avaliaram a ação da radiação ionizante em vegetais como feijão, tomate e batatas. Os resultados indicaram que os alimentos irradiados não apresentaram alterações significativas em suas composições, desde que o tratamento fosse realizado dentro de limites e condições controladas, estipulados pela legislação (ORDÓÑEZ *et al.*, 2005; MAHTO; DAS, 2014; ARAÚJO, 2016; SOARES *et al.*, 2016; RAGAB *et al.*, 2017). Porém, estudos disponíveis na literatura informam que a radiação ionizante sobre materiais de origem vegetal promoveu reações diversas como aumento ou diminuição dos níveis de compostos fitoquímicos utilizando doses de 0,5 a 10 kGy (TOLEDO *et al.*, 2007;

JEONG *et al.*, 2009; SANTOS *et al.*, 2010; SANTOS *et al.*, 2011; ZHU *et al.*, 2010; SALEM *et al.*, 2013).

O presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão sistemática dos trabalhos disponíveis na literatura que utilizaram a radiação gama como processo de conservação de alimentos de origem vegetal, dando especial ênfase na ação da radiação sobre os compostos fitoquímicos glicoalcalóides e fenólicos e suas consequências sobre a saúde humana.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Compostos glicoalcalóides

As plantas são "fontes naturais" para a produção de metabólitos, sejam eles primários e/ou especializados (ou secundários) específicos de linhagem. Seus metabólitos são notórios por seu tamanho e diversidade estrutural. A porção maior deste repertório metabólico é representada por metabólitos secundários, contando pelo menos milhares em uma planta individual. Embora mais de um milhão de metabólitos especializados de plantas já terem sido relatados até o momento, ainda falta muito a ser descoberto. Metabólitos especializados são conhecidos por desempenharem um papel central na defesa e na resposta ao estresse abiótico servindo como a linguagem "química" para as interações do ambiente e a planta (WANG *et al.*, 2019).

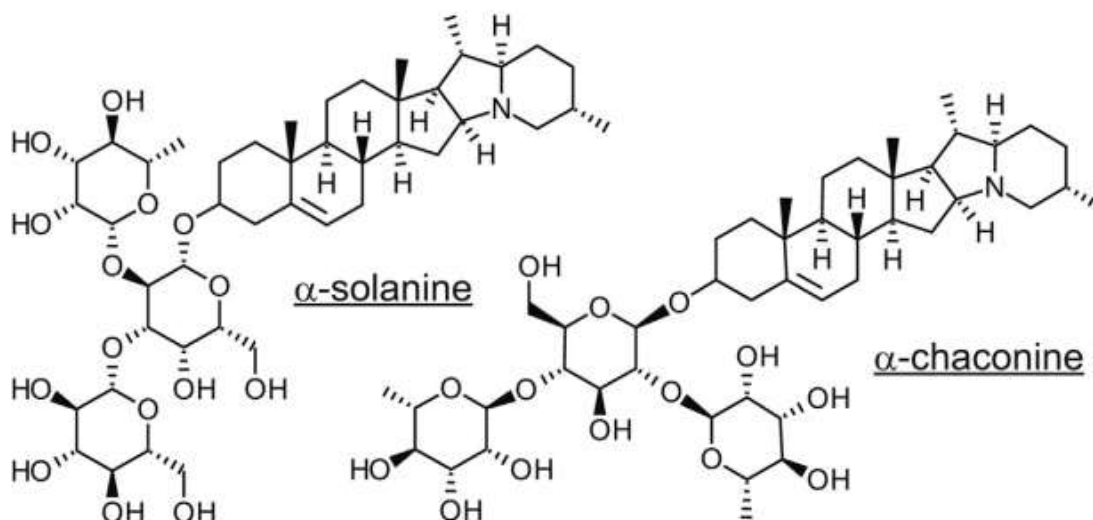
Um desses metabólitos secundários em plantas são os glicoalcalóides, que são uma família de compostos químicos derivados de alcalóides aos quais os grupos de açúcar estão anexados. Em sua maioria, são potencialmente tóxicos, principalmente os comumente encontrados nas espécies de plantas *Solanum dulcamara* e em outras plantas do gênero *Solanum*. Esses compostos ocorrem naturalmente na planta e são encontrados em vários alimentos, como a batata, tomate e berinjela (CÁRDENAS *et al.*, 2015).

Os glicoalcalóides são compostos tóxicos produzidos naturalmente por alguns vegetais, para defesa da planta, agindo na proteção contra fitopatógenos, incluindo bactérias, fungos e vírus, bem como, animais herbívoros e pragas de insetos. Estes compostos também protegem a planta do clima e do estresse que os fatores ambientais possam causar, como excesso de chuva, sol e presença de substâncias tóxicas no solo (FRIEDMAN, 2017).

As maiores concentrações de glicoalcalóides são encontradas em batata (*Solanum tuberosum*), sendo α -solanina e α -chaconina os glicoalcalóides predominantes. Esses compostos equivalem a maior proporção (95%) na batata e são de 2 tipos: α -chaconina (solanidina-glicose-raminose-raminose) e α -solanina (solanidina-galactose-glicose-raminose) (Figura 1). Ambos os compostos têm uma parte alcalóide esteróide comum, a aglicona solanidina, à qual está ligado um

trissacarídeo, e a concentração dos dois tipos resultam em que denomina-se de Glicoalcalóides Totais - GAT (LEVY; RABINOWITC, 2017).

Figura 1 - Estrutura dos glicoalcalóides da batata inglesa (*Solanum tuberosum* L.)



Fonte: FRIEDMAN (2017).

Os teores de glicoalcalóides totais se alteram em decorrência da genética diversa dos vários vegetais, do tipo e umidade do solo, tratamentos com fertilizantes e pesticidas, poluição do ar e condições de armazenamento. No entanto, pesquisas realizadas para avaliar a mudança dos níveis de glicoalcalóides submetidos a vários tipos de cozimentos mostraram que esse tipo de procedimento provoca poucos efeitos ou efeito nenhum, mostrando que eles são termoresistentes (LEVY; RABINOWITC, 2017).

A toxicidade dos glicoalcalóides α -solanina e α -chaconina foram avaliadas desde muito tempo, por meio de teste com animais experimentais (NISHI; GUMBMANN; KEYL, 1971; CHAUBE e SWINYARD, 1976; NORRED; NISHIE; OSMAN, 1976; ALOZIE, SHARMA; SALUNKHE, 1979, SHARMA; TAYLOR; BOURCIER, 1983; DALVI, 1985; BLANKEMEYER *et al.*, 1992; LANGKILDE *et al.*, 2008; LANGKILDE *et al.*, 2009; LIN *et al.*, 2018) e por investigações clínicas (HARRIS; WHITTAKER, 1962, PATIL *et al.*, 1972; HARVEY *et al.*, 1985), mas seu o mecanismo de ação permanece quase desconhecido. No entanto, as duas toxinas que constituem os TGA parecem ser capazes de inibir a acetilcolinesterase humana (McGEHEE *et al.*, 2000; HASANAIN *et al.*, 2015), o transporte de cálcio (MICHALSKA *et al.*, 1985) e

a inibição de transporte através das membranas celulares, pois, mesmo em concentrações mais baixas (micro molares), as toxinas são capazes de danificar as células nervosas (citotoxicidade sinérgica induzida pela α -solanina e α -chaconina). (TOYODA *et al.*, 1991; BLANKEMEYER *et al.*, 1992, BLANKEMEYER *et al.* 1995).

As partes imaturas ou maduras demais, como folhas e frutos, de quase todas as espécies de solanáceas, contêm glicoalcalóides (ou alcalóides glicosídicos), principalmente os esteróides α -solanina e α -chaconina, com relevância tóxica estudada (atividades anticolinesterásica e hemolítica), apesar disso, eles podem ser seguros para ingestão em níveis de cerca de 1–2mg / kg de peso corporal (KOH *et al.*, 2013; ELKAHOUI *et al.*, 2018).

Um estudo feito por Mensinga *et al.* (2005), com o objetivo de avaliar a toxicidade e a farmacocinética dos glicoalcalóides de batatas, com doses variadas e administradas oralmente, observou que nenhum dos tratamentos induziu efeitos sistêmicos agudos, porém um indivíduo que recebeu o tratamento com dose mais alta teve alguns efeitos gastrointestinais, como enjoo e vômitos. Os autores ainda enfatizaram que a eliminação dos glicoalcalóides geralmente leva mais de 24 horas, isso é, esses compostos são cumulativos, caso consumidos diariamente.

Uma vez que a batata (*Solanum tuberosum*) é o vegetal do gênero *Solanum* mais estudado e o mais consumido, diretrizes foram formuladas para limitar a sua concentração de glicoalcalóides, visto que a quantidade deste composto, pode aumentar durante o armazenamento e transporte, como resultado de vários fatores, tais como: exposição a luz, calor, corte, lesão, brotação e exposição a fitopatógenos. Em tubérculos verdes e, conseqüentemente, imaturos, existem grandes chances de haver uma proporção maior de glicoalcalóides (NIE *et al.*, 2019).

O Comitê Conjunto de Especialistas em Aditivos Alimentares da FAO / OMS(JECFA) considerou que os níveis médios de 20 a 100 mg/kg de glicoalcalóides, geralmente encontrados em batatas, podem ser considerados como seguros (JECFA, 1992,JECFA, 1993), embora um nível total de glicoalcalóides de 200 mg/kg de peso fresco seja frequentemente considerado o limite de segurança, no entanto, referências como a EMBRAPA (2015) e Levy e Rabinowitc (2017) abordam que o limite de segurança para consumo humano é de 20 a 25 mg de glicoalcalóides totais para 100 g de peso fresco da batata.

As plantas solanáceas que produzem os glicoalcalóides diferem de acordo com as espécies, dependendo da presença ou ausência de uma ligação dupla C-C,

variedade de grupos funcionais (hidroxila, acetila) e grupos de açúcar. Os principais glicoalcalóides presentes na batata são α -chaconina e α -solanina; no tomate: α -tomatina e desidrotomatina; e na berinjela: α -solasonina e α -solamargina (LEVY; RABINOWITC, 2017). Vale ressaltar que os glicoalcalóides do tomate apresentam baixa toxicidade oral, devido à sua capacidade de formar complexo insolúvel com o colesterol, que não é absorvido no nível intestinal (FRIEDMAN E RASOOLY, 2013).

Embora em altas doses eles sejam tóxicos, estudos recentes indicaram que esses compostos também podem apresentar bioatividades benéficas à saúde humana. Isso inclui ação anticarcinogênica, ressaltando os benefícios quando utilizados em quantidades baixas, o que irá inibir o crescimento das células cancerígenas em cultura (*in vitro*) bem como o crescimento do tumor *in vivo*, assim como atividades anti-inflamatórias e antiobesidade. Os estudos ainda ressaltam que níveis de glicoalcalóides nas batatas comerciais (de 20 mg/100 g) podem ajudar a proteger contra vários cânceres, entretanto estudos epidemiológicos são necessários para evidenciar essa hipótese (HOSSAIN *et al.*, 2015; ELKAHOUI *et al.*, 2018; FRIEDMAN *et al.*, 2018).

2.2 Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos são metabólitos secundários, isto é, substâncias que têm pouco ou nenhuma função na fotossíntese, respiração ou crescimento e desenvolvimento da planta. Em humanos, são xenobióticos não nutritivos que são eliminados rapidamente, sendo, em sua maioria compostos antioxidantes. Estes compostos constituem uma grande classe de fitoquímicos, estando onipresentes no reino vegetal e classificados como a principal fonte de antioxidantes dietéticos exógenos na dieta humana (GIOXARI *et al.*, 2016).

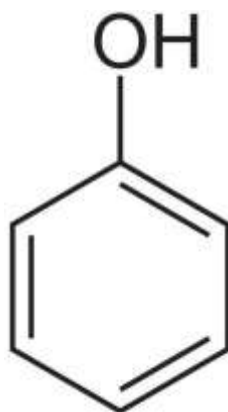
As plantas podem produzir vários compostos orgânicos divididos em metabólitos primários e secundários. Enquanto os metabólitos primários possuem função estrutural, plástica e de armazenamento de energia, os metabólitos secundários têm como função protegerem as plantas contra herbívoros e patógenos, agir como atrativos (aroma, cor, sabor) para polinizadores e funcionar como agentes de competição entre plantas e de simbiose entre plantas e microrganismos (ADETUNJI *et al.*, 2021).

As funções dos metabólitos secundários podem estar presentes tanto durante os processos metabólicos normais quanto em certas condições ambientais, tais como danos mecânicos, quando são machucadas (feridas), alterações de temperatura, exposição à radiação UV, infecção, entre outras (CHEYNIER, 2012; TIAGO *et al.*, 2017).

Os compostos fenólicos são metabólitos secundários, que ocorrem como derivados funcionais, como ésteres metílicos, ésteres e glicosídeos. Eles são vistos em formatos do conjugado com poli-e monossacarídeos que uniram um ou mais compostos fenólicos. Incluem flavonóides, ácidos fenólicos, fenóis simples e derivados do ácido hidroxicinâmico (VUOLO; LIMA; JUNIOR, 2019).

Os fenólicos são compostos com anéis aromáticos acoplados a um ou mais substituintes hidroxílicos, incluindo seus grupos funcionais (Figura 2). Estes são os metabólitos secundários mais comuns encontrados em plantas, com mais de 8.000 estruturas identificadas. Eles variam em sua complexidade, desde os fenólicos simples (ácidos fenólicos); aos compostos complexos (os taninos), além de participarem da defesa da planta contra patógenos e outros predadores. Podem ser encontrados em todas as partes da planta e se tornar um ingrediente essencial na dieta humana (SHAH *et al.*, 2018).

Figura 2 – Estrutura molecular de fenol



Fonte: Angelo e Jorge (2007).

Os fenólicos são responsáveis pelas características organolépticas de vegetais e são encontrados principalmente em frutas, legumes, verduras, chás, vinhos e cafés. Assim como são agentes causadores do amargor das frutas devido à sua interação com a glicoproteína salivar, também podem ser responsáveis por atribuírem cores a

muitas frutas e vegetais e ainda serem responsáveis pelas diferenças no sabor e na cor das diferentes marcas de vinho. Em plantas, existem cerca de cinco mil fenóis, dentre eles, destacam-se os flavonóides, ácidos fenólicos, os estilbenos, fenóis simples, cumarinas, taninos, ligninas e tocoferóis, sendo os mais comuns os lignanos, os taninos, os ácidos fenólicos, e os flavonóides (ALARA; ABDURAHMAN; UKAEGBU, 2021).

Os taninos são classificados em dois grupos: hidrolisáveis e condensados. O primeiro grupo inclui um núcleo central de glicose em uma forma esterificada com ácido gálico. A formação de ligações oxidativas entre os componentes é responsável pelas grandes diferenças em suas estruturas. O segundo são oligômeros ou polímeros de flavan-3-ol ligados através da ligação de carbono interflavan. Esses também são chamados de proantocianidinas devido ao fato de que, quando aquecidos em uma solução de álcool ácida, podem ser degradados em antocianidinas por meio de um processo de oxidação catalisado por ácido (NAUMANN *et al.*, 2017).

Os flavonóides são os principais polifenóis encontrados, sendo sua estrutura composta por um núcleo de flavan com 15 átomos de carbono dispostos em 3 anéis, como C6-C3-C6 rotulados A, B e C. Existem seis subgrupos de flavonóides, sendo estes: flavonas, flavanonas, flavonóis, antocianinas e isoflavonas. Este agrupamento opera no estado de oxidação do anel C central na estrutura dos flavonóides. As diferenças na estrutura de cada subgrupo são parcialmente atribuídas ao padrão e grau de hidroxilação, prenilação, glicosilação ou metoxilação. Os flavonóides mais comuns são quercetina, catequina, naringenina, cianidina-glicosídeo e daidzeína (SLÁMOVÁ; KAPEŠOVÁ; VALENTOVÁ, 2018).

Em relação ao ácido fenólico, existem duas classes de derivados, o ácido benzóico (ácido gálico) e derivados do ácido cinâmico, como o ácido cumárico e ferúlico. Em vegetais e frutas é encontrado o ácido cafeico, que são principalmente esterificados com ácido quínico. O ácido ferúlico é outro ácido fenólico comum encontrado nos cereais; principalmente esterificado com hemiceluloses (DAI; MUMPER, 2010).

2.3 Uso da radiação ionizante no tratamento de alimentos

Desde 1985 a técnica de irradiação gama em alimentos é conhecida por diminuir a contagem microbiológica e aumentar o tempo de conservação dos

alimentos. Essa tecnologia de irradiação tem se mostrado eficaz na conservação de alimentos de origem vegetal, devido à redução em perdas pós-colheita causadas por processos naturais, como o brotamento, maturação e envelhecimento. A irradiação também atua na eliminação ou diminuição de microrganismos, insetos e parasitas, sem prejudicar as propriedades nutricionais dos alimentos e consequentemente seguro para o consumidor (NÓBREGA, 2017).

Para irradiar alimentos é utilizada a radiação ionizante, que por sua vez é definida como toda forma de radiação que carrega energia suficiente para arrancar os elétrons dos átomos, podendo ser produzida de forma natural ou artificial. Um dos tipos de radiação ionizante são os raios gama, que são um tipo de radiação eletromagnética formada por fótons altamente energéticos e de alta frequência. São radiações de grande capacidade de penetração (NÓBREGA, 2017).

Na perspectiva de prevenção, a radiação ionizante elimina agentes infectantes, como insetos e larvas, constituindo uma técnica bastante útil, posto que oferece um alimento seguro na dieta do consumidor, com uma carga bem menor de agentes infecciosos, sendo versátil por desinfestar alimentos agrícolas frescos e já embalados (BARKAI-GOLAN; FOLLETT, 2017). Dessa maneira, esse processo vem como uma alternativa à frente de outras técnicas de conservação, como a utilização de agentes químicos que podem comprometer as propriedades nutricionais dos alimentos (NUNOO; AMOATEY; KLU, 2014; FRIMPONG; KOTTOH; DO LARB, 2015).

De acordo com Nóbrega (2017) o processo baseia-se em expor o alimento, embalado ou a granel, a uma dose específica de radiação, por um tempo estabelecido e com objetivos próprios para cada grupo de alimentos. Devido à alteração das estruturas moleculares que a radiação ionizante pode causar, ela impede a multiplicação de microrganismos, como bactérias e fungos, que causam a deterioração do alimento, e por causa de processos fisiológicos que ocorrem em frutas e legumes, o processo também retarda a maturação. A tecnologia da irradiação de alimentos ainda possibilita o tratamento fitossanitário de mercadorias que tenham sido atingidas por pragas de insetos em quarentena, antes de serem exportadas. Desta forma contribui com a manutenção da qualidade do alimento, evita o desperdício e fortalece a economia.

Ao longo dos anos, pesquisas e discussões sobre a aplicação da tecnologia da irradiação para conservação dos alimentos evoluiu bastante, refletindo em benefícios no âmbito da saúde, economia e desenvolvimento de uma região. Em 1980, a

Organização para a Alimentação e Agricultura, a Agência Internacional de Energia Atômica e a Organização Mundial de Saúde (FAO / IAEA / OMS) publicaram que alimentos irradiados com doses de até 10 kGy não causavam efeitos toxicológicos ou alterações nutricionais. Contudo, em 1997, acerca de irradiação de altas doses, o mesmo grupo de organizações concluíram que doses acima de 10 kGy eram seguras e saudáveis para alimentos com alto teor de umidade e com baixa umidade, como especiarias, ervas e vegetais secos (OMS, 1999).

Mundialmente, a tecnologia de irradiação de alimentos é reconhecida e estabelecida há décadas, principalmente devido aos vários estudos que comprovaram sua eficiência e segurança (EHLERMANN, 2016). Cabe destacar também, que a tecnologia da irradiação tem sido associada e utilizada para manter ou aprimorar atividade oxidante dos alimentos. Quando comparada a outras técnicas de conservação, ganha destaque visto seus benefícios. Contudo, ainda apresenta fatores limitantes para sua expansão, como a aceitação do público, fatores econômicos e logísticos. Porém, estas limitações podem ser facilmente superadas pelos excelentes resultados advindos de sua prática e com uma maior divulgação e esclarecimento à população referente à sua aplicação e objetivos (BARKAI-GOLAN; FOLLETT, 2017).

Segundo dados da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA, 2015), pesquisas realizadas em 2005 informaram que um total de 405 mil toneladas de alimentos no mundo foram irradiados comercialmente em países como os Estados Unidos, partes da Ásia e União Europeia. Em 2013, a estimativa foi de cerca de 700 mil toneladas de alimentos irradiados.

Um dos países que mais irradiaram alimentos foi a China, com aproximadamente 200 mil toneladas, incluindo especiarias, carnes, grãos e outros produtos. Possivelmente, a irradiação é a técnica mais utilizada para a descontaminação de especiarias e ervas nos Estados Unidos, China e Ásia, que nesse ramo excederam mais de 100 mil toneladas. Em reuniões internacionais foi relatado um crescimento rápido de instalações e aprovações de aplicação de irradiação em alimentos, principalmente na China. Em 2014, verificou-se em países asiáticos uma estimativa de 120 mil toneladas de pés e asas de frango irradiados com propósito de descontaminação, e, de modo geral, é notório que a cada ano vem ocorrendo crescimento na irradiação de temperos (IAEA, 2015; ROBERTS, 2016).

Cabe ressaltar que estudos realizados com frutas e hortaliças, como batata, milho, mandioca, feijão preto, arroz, agrião, mamão e tomate permitiram observar

como a irradiação não altera a composição físico-química, organoléptica, características sensoriais e nutricionais dos alimentos, além de ter uma maior inibição microbiológica (PIMENTEL, 2001; MARTINS, 2004; MOURA *et al.*, 2005; ZANÃO *et al.*, 2009; RODRIGUES, 2014; MAHTO; DAS, 2014; ARTHUR *et al.*, 2016; ARAÚJO, 2016; SOARES *et al.*, 2016; RAGAB *et al.*, 2017).

No manual de boas práticas em irradiação de alimentos, a IAEA classifica em três categorias as doses utilizadas para irradiação de alimentos: Radurização, Radiopasteurização e Radapertização. Cada categoria tem sua dose específica, efeito e tipos de alimentos que podem utilizar essas doses sem alterar suas características principais, como pode ser visto na tabela abaixo.

Tabela 1 – Categorias e aplicações da irradiação de alimentos

CATEGORIAS	DOSES (kGy)	EFEITOS
Radurização	0,1-1	Inibir brotamento (batata, alho, cebola); retardar amadurecimento (banana, mamão); matar e impedir reprodução de insetos; inativar parasitas (carnes, frutas frescas e legumes).
Radiopasteurização	1-10	Reduzir número de organismos deteriorantes; estender tempo de prateleira (refeições prontas, carne e peixe refrigerado); inativar micro-organismos não-esporulantes (frutas e vegetais pré-cortados; carne, peixe e frutos do mar refrigerados ou congelados)
Radapertização	Acima de 10	Reduzir os micro-organismos ao ponto de esterilização (dietas hospitalares, alimentos para astronautas)

Fonte: IAEA, 2015.

2.4 Legislação da irradiação de alimentos

A utilização de radiação ionizante em alimentos está fundamentada em argumentos técnicos e em legislação específica. No Brasil a legislação em vigor é a Resolução Nº 21 de 2001, promulgada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária

(ANVISA), que por sua vez está baseada em normas internacionais propostas pelo Codex Alimentarius da Organização das Nações Unidas (ONU), pela *Food and Agriculture Organization* (FAO) e pela International Atomic Energy Agency (IAEA) (BRASIL, 2001).

A Resolução nº 21 da ANVISA estabelece o emprego da radiação nos alimentos, e as fontes utilizadas devem ser autorizadas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), regulamentando que qualquer alimento pode ser irradiado, porém com certas observações como os limites mínimos e máximos de doses de radiação. A dose mínima deve ser suficiente para atingir o objetivo tecnológico e a dose máxima absorvida deve ser menor do que a que comprometeria a segurança do consumidor, a salubridade ou afetaria adversamente a integridade estrutural, propriedades funcionais ou atributos sensoriais (BRASIL, 2001).

Em relação aos rótulos de alimentos irradiados, a resolução da ANVISA estabelece que no painel principal da embalagem deve conter a frase “ALIMENTO TRATADO POR PROCESSO DE IRRADIAÇÃO”, em letras do tamanho não inferior a um terço da letra de maior tamanho que está na rotulagem. Porém, algumas observações são específicas, como para produtos irradiados, utilizados como ingredientes em outro alimento, necessitam constar na lista de ingredientes essa característica, entre parênteses, após seu nome. Enquanto em alimentos vendidos a granel, é obrigatória a fixação de faixa ou cartaz com essa condição e/ou o símbolo da radura (Figura 3) (BRASIL, 2001).

Figura 3- Símbolo de alimentos irradiados



Fonte: ANON (2005).

A ANVISA aborda que como qualquer outro tipo de tratamento, a irradiação deve ser acompanhada de boas práticas de fabricação e manuseio e não substituído, assim como a sua embalagem deve ter condições limpas aceitáveis, ser apropriado

para a irradiação, e estar conforme a resolução aprovada pelo órgão responsável (BRASIL, 2001).

A irradiação se sobressai entre outros métodos porque atinge os seus objetivos, sem aumentar significativamente a temperatura dos alimentos, deixando próximo de seu estado inicial de não processamento, ao contrário de processos como o químico e os tratamentos térmicos, que também eliminam pragas de insetos, fungos e microrganismos, mas que podem em seu processamento deixar resíduos (tratamento químico) ou alterar diversas características físicas, como textura, cor e sabor dos alimentos (tratamento térmico) (SILVA JUNIOR, 2014).

2.5 Efeitos da radiação gama em vegetais

Diversas pesquisas com aplicação da radiação em vegetais foram realizadas com diferentes finalidades; sejam elas na avaliação de alterações físico-químicas e organolépticas, ou a nível de alteração do teor de metabólitos secundários. Muitos trabalhos relatam a utilização da radiação gama como agente de conservação ou aumento do tempo de prateleira de material vegetal.

Quando avaliado o estudo com a batata foi irradiada por diferentes doses, desde 0,1 kGy a 2 kGy, constatou-se que a radiação gama contribuiu para melhorar a vida útil das batatas em armazenamento não refrigerado. A exposição a radiação também diminuiu a perda de peso e a brotação, além disso, a dose de 0,15 kGy não alterou as propriedades nutricionais ou sensoriais dos tubérculos (MAHTO; DAS, 2014; SOARES *et al.*, 2016; RAGAB *et al.*, 2017).

Souza *et al.* (2014) avaliaram cebolas de diferentes cultivares, irradiadas com doses de 40, 60, 80 e 100 Gy responderam de forma diferente a cada dose e a cada momento avaliado tal como o tratamento de 60 Gy para a cultivar Aguaris, que se mostrou mais eficiente para a conservação das cebolas, por um período de no mínimo 120 dias. O autor concluiu seu estudo dizendo que o processo de irradiação inibiu o brotamento e manteve as características sensoriais e físico-químicas das cebolas.

Outra planta tuberosa é a mandioca, a qual foi estudada por Arthur *et al.* (2016). Os autores analisaram o seu pH, peso, umidade, textura e cor após a irradiação e observaram que a radiação gama, nas doses de 1 e 3 kGy não afetou as características físico-químicas do produto e manteve estas características por um período de até 50 dias de armazenamento sob refrigeração.

O café também foi estudado para verificar se suas características físico-químicas eram afetadas por doses de 5 a 10 kGy de radiação gama, o autor analisou os teores de açúcares totais, glicose, sacarose, cafeína, umidade, pH, acidez total titulável, fibras e condutividade elétrica. Foi analisado em vários períodos de armazenamento. Observou-se que radiação não induziu efeitos deletérios nas sementes de café arábica e conillon irradiados com 5 kGy e 10 kGy até 90 dias após a irradiação (SILVA, 2012).

Em relação aos efeitos em fitoquímicos, os resultados foram diversos dependendo da dose utilizada e da espécie de vegetal analisada. Alguns autores observaram o aumento de compostos fenólicos como flavonas, fenóis totais e taninos sem associação dose-dependente. O estudo de Santos *et al.* (2011) analisou os teores totais de fenóis e taninos nas cascas e folhas de *Anacardium occidentale* L. Anacardiaceae expostos as doses de 5, 7,5 e 10 kGy. Foi observado que a radiação gama altera os conteúdos de fenóis totais e taninos das cascas e influenciam, aumentando os fenóis totais e taninos das folhas, apresentando maiores concentrações na dose de 10 kGy.

Também foi observado por Bhat, Sridhar e Tomita-Yokotani (2007) ao irradiarem sementes de *Mucuna pruriens* expondo-as a doses de 2,5, 5,0, 7,5, 10, 15 e 30 kGy um aumento significativo, dependente da dose, de fenólicos. Vale ressaltar que os autores observaram que a dose 2,5 kGy promoveu a diminuição dos fenólicos, enquanto que a dose de 7,5 kGy não influenciou nos teores de taninos.

Ao irradiar grãos de feijão preto crus e cozidos nas doses de 0, 2, 4, 6, 8 e 10kGy, Mechi *et al.* (2005) observou que o teor de tanino para o feijão cru não variou com a intensidade da radiação.

Alguns trabalhos notaram que a radiação gama diminuiu os teores de fenóis, como os resultados de Salem *et al.* (2013) que ao analisarem o teor de polifenólicos e a capacidade antioxidante de folhas da planta *Salvia officinalis* irradiadas, perceberam que a radiação diminuiu o teor de polifenólicos significativamente em 30% e 45% expostos a 2 e 4 kGy, respectivamente, em comparação com as amostras não irradiadas. Assim como, resultados encontrados com grãos de arroz irradiados com doses de 2 à 10 kGy, em geral, a radiação gama na maioria das doses pode diminuir significativamente o conteúdo de ácido fenólico total e o conteúdo de antocianina total desse vegetal (ZHU *et al.*, 2010).

Quando investigado o uso da radiação com doses de 2, 4 e 8 kGy em grãos de soja, foi observado que todos os compostos analisados (fenólico total, taninos, tripsina) sofreram redução com o aumento nas doses de radiação tanto para amostras cruas quanto cozidas (TOLEDO *et al.*, 2007).

Grãos de feijão foi analisado por Brigide e Canniatti-Brazaca (2006) e foi constatado que grãos cozidos tinham baixos teores de tanino que não se alteravam com a irradiação, mas os conteúdos de grãos crus mudavam com a irradiação. O processo de irradiação com dose de 6 kGy mostrou também a redução no teor de fitato.

Em alguns estudos foi verificado que a radiação não influenciou nos teores de fitoquímicos, principalmente os fenóis e taninos. Santos *et al.* (2010) investigou a influência da radiação gama nos fenóis totais, taninos e atividade antimicrobiana de extratos vegetais etanólicos da casca e folhas de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan e verificaram que não houve diferença entre as amostras controle e as irradiadas nas doses de 5,0; 7,5 e 10 kGy para os teores de compostos fenólicos. Portanto, a radiação ionizante não influenciou nos teores de fenóis e taninos totais ou na atividade antimicrobiana dos extratos da casca e das folhas de *A. colubrina*.

Jeong *et al.* (2009) notou em seus estudos que a irradiação não afetou os polifenóis no caso do extrato de folha *Nelumbo nucifera*. Verificaram também que os polifenóis eram cerca de 232,1, 224,9 e 210,1 g/kg para as irradiações de 10, 20 e 50 kGy, respectivamente.

O alecrim, agrião, alcachofra e manjerição doce foram irradiados a 10, 20 e 30 kGy para avaliar as alterações no β -caroteno e flavonoides totais. E quando comparadas aos resultados de amostras não irradiadas não houve diferença, constatando diante da metodologia utilizada que a irradiação não teve efeito sobre esses compostos (KOSEKI *et al.*, 2002).

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa se caracteriza por ser uma revisão sistemática. Segundo Siddaway, Wood e Hedges (2019) a revisão sistemática é uma investigação na literatura de baixo custo, é um trabalho de investigação que utiliza métodos pré-definidos para identificar sistematicamente todos os documentos importantes publicados e não publicados para uma questão de investigação, avalia a qualidade desses artigos, extrai os dados e sintetiza os resultados.

As revisões sistemáticas resumem os resultados de todos os estudos originais num determinado tema, elas são frequentemente consideradas como evidência de alta qualidade, visto que a literatura científica tem crescido consideravelmente todo ano (NICHOLSON; MCCRILLIS; WILLIAMS, 2017).

Esse estudo foi norteado pela seguinte questão: a radiação gama influencia as composições de glicoalcalóides e fenólicos em vegetais?

- **Fontes de buscas**

Neste estudo, as buscas por artigos foram realizadas exclusivamente por fontes digitais. Foram utilizadas 5 principais bases de dados para a busca dos trabalhos, e foram escolhidas pela relevância no meio acadêmico: *ScienceDirect* (operada pela editora Elsevier), *Scientific Electronic Library Online* (Scielo), PubMed (MEDLINE), *Web of Science* e Scopus, sendo os acessos às duas últimas bases realizados via periódicos Capes.

Os descritores utilizados para a busca nas plataformas foram integralmente em idioma inglês: “gamma irradiation”, “glycoalkaloids”, “phenolic” e “vegetables”, onde também se utilizou a pesquisa booleana, com os termos AND e OR e o uso de parênteses nos compostos de interesse, formato utilizado que melhor forneceu resultados viáveis e de grande interesse para esta pesquisa. As citações dos estudos identificados nessa fase foram salvas no formato BibTex e exportadas para o gerenciador bibliográfico Mendeley® para facilitar o processo de triagem e seleção.

- **CrITÉrios adotados**

Para a inclusão de artigos foram adotados alguns critÉrios que focassem no objetivo proposto, artigos de pesquisas originais de cunho experimental e com utilização da radiação ionizante fosse o foco dos autores são elegÍveis para este estudo. Artigos no idioma inglÊs foram selecionados.

Para critÉrios de exclusão foram levados em conta diversos fatores, como: artigos de revisão, capÍtulos de livros, livros, enciclopédias, resumos de conferências, editorias e estudo de casos, sendo estes descartados da seleção.

A duplicidade de artigos ou resultados, ou seja, a repetição de publicação de artigos em diferentes periódicos ou diferentes plataformas de busca eram excluÍdos, assim como artigos inconsistentes, que eram considerados inconclusivos. E em relação ao ano de publicação não foi delimitado um perÍodo especÍfico devido à escassez de trabalhos atuais sobre um dos compostos analisados.

- **Análise das publicações e aplicação dos parâmetros adotados**

Este estudo foi realizado em várias etapas, foram elas: busca nas plataformas digitais pelos descritores, leitura de tÍtulo e resumo, leitura integral, anotação de informações, organização das informações e discussão dos resultados encontrados.

Logo após a identificação dos artigos, deu-se seguimento  seleção por leitura de tÍtulos e resumos, chegando a um nÚmero reduzido para a leitura integral e legibilidade dos estudos analisados, feito isso ocorreu a inclusão de 34 artigos que davam seguimento ao que foi proposto no objetivo do presente estudo.

O material incluso foi submetido à análise e, logo após, dividido por categorias (sementes, fruto, folhas) para posteriormente iniciar a coleta de dados.

- **Coleta e organização de dados**

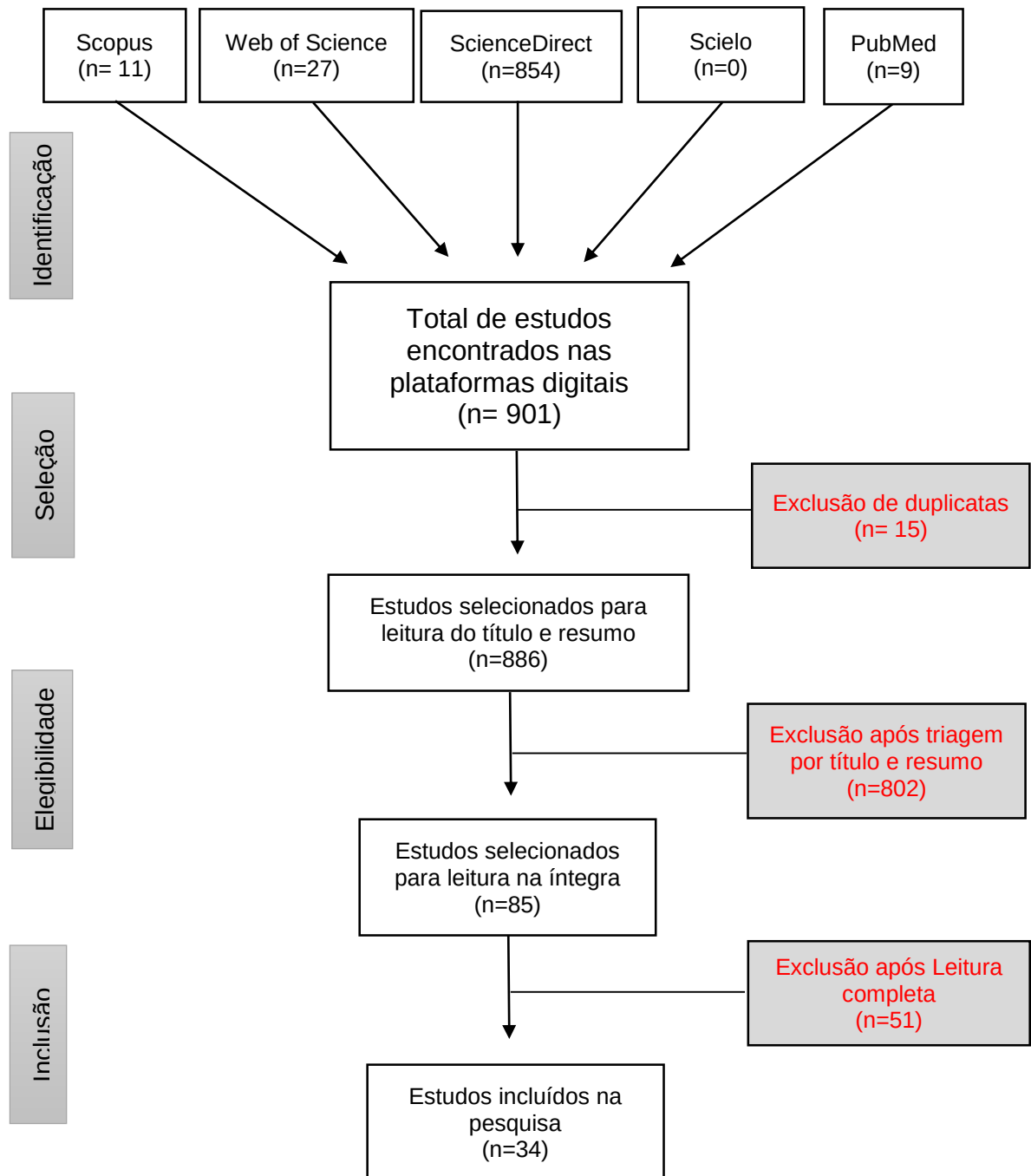
A coleta de dados foi realizada dando seguimento a roteiro: dados de identificação dos autores (sobrenome); seguido por ano de publicação; amostra (qual vegetal foi estudado); a análise do estudo; tÉcnica utilizada para identificar/quantificar os compostos fenólicos e/ou glicoalcalóides; perÍodo de análise das amostras; doses de radiação aplicadas nas amostras; a melhor dose (se houver, caso a amostra

apresente resultados “positivos”); resultados encontrados (ou seja, se a radiação alterou ou não os teores dos compostos) e por fim, técnica associada à radiação gama (se houver). Foram dispostos por ordem cronológica de ano de publicação, e logo após a coleta citada anteriormente, foi realizada a discussão dos resultados encontrados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As etapas de identificação, seleção, elegibilidade e inclusão dos estudos encontrados nas plataformas digitais, assim como o número de artigos incluídos e excluídos, estão dispostos na Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma de seleção dos artigos incluídos na pesquisa



Foram encontrados 901 artigos científicos que estavam associados aos descritores nas diversas plataformas digitais utilizadas, dentre elas a *ScienceDirect* foi a que obteve maiores resultados, com 95% dos títulos encontrados. Esta plataforma é uma página web operada pela editora Elsevier, que permite o acesso a, aproximadamente, 2500 revistas científicas e mais de 26000 e-books. A seguir, A *Web Of Science*, apresentou um índice de 3% das publicações encontradas, e com menores índices de estudos identificados, o *Scopus* (1,2%) e *PubMed* (0,8%), enquanto que na *Scielo* não foi encontrado nenhum trabalho.

Dos 901 estudos identificados, 89% desses foram excluídos ao passarem pela triagem por leitura de título e resumo, por não estarem dentro do estipulado no objetivo. O restante dos títulos (85), foram selecionados para uma leitura completa para melhor entendimento do estudo. Após esta fase, foram incluídos na pesquisa 34 artigos.

Os 34 artigos incluídos para compor os resultados da presente pesquisa foram dispostos na Tabela 1 por autor e ano, vegetal analisado, técnica utilizada, período de análise, doses de radiação aplicadas, melhor dose, resultados encontrados e técnica associada.

Quadro 1– Características dos artigos incluídos.

Autor/ano	Amostra	Análise	Técnica para identificar/quantificar os glicoalcalóides e/ou fenólicos	Período de análise	Doses de radiação aplicadas	Melhor dose apresentada	Resultados (glicoalcalóides e fenólicos)	Técnica associada
Bergers, 1981	Batata	Fenólicos e glicoalcalóides	TLC, UV e HPLC	12 semanas	0,1; 0,5 e 3 kGy	3 kGy (fenólicos)	Não alterou os glicoalcalóides ; Fenólicos foram aumentados.	
Mondy e Seetharaman, 1990	Batata	Glicoalcalóides e clorofila	De acordo com método de Mondy and Ponnampalam (1983)	12 semanas	0,1; 0,3 e 1 kGy	0,1; 0,3 e 1 kGy	Diminuiu os glicoalcalóides	Embalagem e atmosfera modificada
Dale <i>et al.</i> , 1997	Batata	Glicoalcalóides e clorofila	HPLC	14 semanas	0,05; 0,1; 0,15 e 0,45kGy	0,15 kGy (Quando expostos a luz)	Depende da cultivar, mas diminuiram quando expostas a luz.	Exposição à luz
Fan, Niemira e Sokorai, 2003	Coentro	Qualidade sensorial, nutricional e microbiológica	Método colorimétrico de Folin-Ciocalteu	14 dias	0; 1;2e 3 kGy	-	Houve pouca mudança nos fenólicos	-

Ahn <i>et al.</i> , 2005	Repolho chinês	Qualidades microbiológicas e físico-químicas	Método colorimétrico de Folin-Ciocalteu	3 semanas	0; 0,5; 1 e 2 kGy	1 kGy	Os fenólicos aumentaram.	Embalagem com Atmosfera Modificada (MAP)
Bhat, Sridhar e Tomita-Yokotani, 2007	Sementes de mucuna	Fenólicos	Método colorimétrico de Folin-Ciocalteu	-	2,5; 5,0; 7,5; 10; 15 e 30 kGy	5,0; 7,5; 10; 15 e 30 kGy	Aumentaram (fenólicos)	-
Pérez, Caldero e Croci, 2007	Alecrim	Atividade oxidante e conteúdo total de Fenólicos	Método colorimétrico de Folin-Ciocalteu	-	0 e 30 kGy	30 kGy	Aumentaram (fenólicos)	-
Khattak <i>et al.</i> , 2009	Rizomas de lótus	Carga microbiana, aceitação organoléptica, rendimento de extração, composição centesimal, conteúdo fenólico e atividade sequestrante de DPPH	Método colorimétrico de Folin-Ciocalteu	12 dias	1, 2, 4 e 6 kGy	6 kGy	Aumentaram (fenólicos)	-
Kim <i>et al.</i> , 2009	Sementes de cominho	Propriedades antioxidantes	Método colorimétrico de Folin-Ciocalteu	-	0, 1, 3, 5 e 10 kGy	1, 3, 5 e 10 kGy	Aumentou ligeiramente (fenólicos)	-

Hussain <i>et al.</i> , 2010	Pêssego	fenilalanina amônia-liase e atividade antioxidante.	Método colorimétrico de Folin-Ciocalteu	28 dias	1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8 e 2,0 kGy	1,8 e 2,0 kGy	Aumentaram (fenólicos)	-
Aouidi <i>et al.</i> , 2011	Folhas de oliveira	Carga microbiana, propriedades antioxidantes e nos compostos fenólicos	Espectrofotômetro UV, utilizando o reagente de Folin-Ciocalteu	-	5, 10, 15, 20 e 25 kGy	-	Não afetou o teor de fenólicos totais	-
El-Beltagi <i>et al.</i> , 2011	Alecrim	Produção de metabólitos secundários e propriedades antioxidantes	Método colorimétrico de Folin-Ciocalteu	-	0,005;0,01;0,015 e0,02 kGy	0,02 kGy	Aumentou os fenólicos	-
Pérez, Banek e Croci, 2011	Sálvia e orégano	Atividade antioxidante	Espectrofotômetro utilizando o reagente de Folin-Ciocalteu	-	30 kGy	-	Não afetou os fenólicos	-
Afify <i>et al.</i> , 2012	Batata	Mudanças na via metabólica da atividade da α -amilase, lactato, NADP, NADPH e níveis de solanina.	Absorvância a 500nm	9 semanas	0,03;0,05; 0,1 e 0,2kGy	0,03; 0,05 e 0,2 kGy	Diminuiu levemente, inibindo a síntese de glicoalcalóides.	-
Mostafavi <i>et al.</i> , 2012.	Maça	Parâmetros físico-químicos	Método de Folin-Ciocalteu	9 meses	0,3;0,6;0,9 e 1,2 kGy	0,3 e 0,6kGy	Aumentaram (fenólicos)	

Yang <i>et al.</i> , 2012	Cebola	Fenólicos	Método de Folin-Ciocalteu modificado		1; 2,5; 5 e 10 kGy	10 kGy	Aumentaram (fenólicos)	-
Tripathi <i>et al.</i> , 2013	Cabaça de cera	Carga microbiana, cor, firmeza, atributos sensoriais, atividade oxidante e fenólicos totais	Método de Folin-Ciocalteu modificado	14 dias	0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 e 2,5 kGy	2 kGy	Aumentou (fenólicos)	Baixa temperatura (4-15°C)
Hussain <i>et al.</i> , 2014	Berinjela	Qualidade físico-química e microbiana	Método de Folin-Ciocalteu	9 dias	0; 0,25; 0,50; 0,75 e 1 kGy	0,75 kGy e 1,0 kGy	Aumentou (fenólicos)	Ácido ascórbico
Vaishnav, Adiani e Variyar, 2015	Couve-flor	Qualidade nutricional, físico-química e sensorial	Método de Folin-Ciocalteu	21 dias	0,5, 1, 1,5 e 2 kGy	0,5 kGy	Aumentou (fenólicos)	-
Hussain <i>et al.</i> , 2016	Folhas de feno-grego e espinafre	Conteúdo de compostos bioativos e na atividade antioxidante	Método de Folin-Ciocalteu e HPLC	-	0; 0,25; 0,5; 0,75; 1; 1,25 e 1,5.	>0,75 kGy	Aumentou (fenólicos)	
Pinela <i>et al.</i> , 2016	Agrião	Parâmetros visuais, nutricionais e de qualidade antioxidante	Método de Folin-Ciocalteu modificado	7 dias	1,2 e 5 kGy	5 kGy	Aumentou (fenólicos)	-
Verma <i>et al.</i> , 2016	Feijão	Propriedades antioxidantes	Método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu		1,0, 2,5 e 5,0 kGy	2,5 e 5,0 kGy	Aumentou (fenólicos)	Umidade
Ornelas-Paz <i>et al.</i> , 2017	Tangerina	Propriedades físicas e químicas	Método de Folin-Ciocalteu e HPLC	3 semanas	0,15; 0,4 e 1 kGy	1kGy	Aumentou (fenólicos)	Armazenamento refrigerado

Lahnine <i>et al.</i> , 2017	Tomilho	Qualidade microbiológica e fenólicos totais.	Método de Folin-Ciocalteu e HPLC	35 dias	0,25, 0,5 e 1 kGy	-	Não aumentou (fenólicos)	Acondicionamento a vácuo
Maraei <i>et al.</i> , 2017	Morangos	Qualidade e conteúdo fitoquímico	Método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu e HPLC	9 dias	0,3, 0,6 e 0,9 kGy	0,6 e 0,3 kGy	Aumentaram (fenólicos)	-
Abolhasani, Barzega e Sahari, 2018	Pistache	Atividade antioxidante e inibitória da tirosinase	Método de Folin-Ciocalteu	-	0, 10, 20, 30 e 40 kGy	20 e 30 kGy	Aumentaram (fenólicos)	-
Almeida <i>et al.</i> , 2018	Cúrcuma	Atividade antioxidante e conteúdo de curcumina	Método de Folin-Ciocalteu	-	0; 5; 10; 15 e 20 kGy	15 e 20 (diminuíram)	Não aumentaram (fenólicos)	-
Pinela <i>et al.</i> , 2018	Agrião	Perfil fenólico	HPLC e UV-vis	7 dias	1, 2 e 5 kGy	5 kGy	Aumentaram (fenólicos)	Embalagem de ar
Tripathi e Variyar, 2018	Vagem	Qualidade físico-química e potencial antioxidante	HPLC e UV-vis	12 dias	0, 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 e 2,5 kGy	1 kGy	Aumentaram (fenólicos)	Armazenamento refrigerado
Ashtari <i>et al.</i> , 2019	Romã	Antioxidantes e propriedades microbiológicas	Método de Folin-Ciocalteu	14 dias	1, 3 e 5 kGy	-	Não aumentaram (fenólicos)	-
Zarbaksh e Rastegar, 2019	Tâmara	Propriedades antioxidante e qualidade microbiana	Método de Folin-Ciocalteu	4 meses	1, 3 e 5 kGy	3 e 5 kGy	Aumentou (fenólicos)	-

Krongrawa <i>et al.</i> , 2020	Rizomas Gengibre preto	Conteúdo fitoquímico, atividades biológicas e cargas microbianas.	Método colorimétrico de Folin-Ciocalteu	-	0, 5, 7,5 e 10 kGy	7,5 kGy	Aumentou (fenólicos)	Embalagem e atmosfera modificada
Memon <i>et al.</i> , 2020.	Cebolas	Qualidade físico-química, fitoquímica, sensorial e microbiana.	Método de Folin-Ciocalteu	16 dias	0,5 kGy, 1,0 kGy e 1,5 kGy	1 kGy	Aumentou (fenólicos)	Benzoato de sódio
Shankar, Khodaei E Lacroix, 2021	Morangos	Propriedades físico-químicas	Método de Folin-Ciocalteu e	12 dias	1 kGy	1 kGy	Aumentou (fenólicos)	Embalagem

Percebe-se que no quadro I, 88,3% dos estudos está relacionada a compostos fenólicos, sendo estes mais atuais, enquanto, com 11,7%, estão os compostos glicoalcalóides, com anos de publicações mais antigos.

Em todos os trabalhos consultados que estudaram compostos fenólicos, foi utilizado o método colorimétrico de Folin-Ciocalteu para detectar fenólicos totais, e outros trabalhos completaram os estudos utilizando HPLC para identificar esses compostos individualmente, ao mesmo tempo que, utilizavam esta técnica para identificar e quantificar os compostos glicoalcalóides.

As doses de radiação gama variaram de 0,005 a 30 kGy para irradiação de diferentes amostras como: batata, cebola, morango, alecrim, feijão, tangerina, maçã, berinjela, pêssago, cominho, coentro, repolho, gengibre, orégano, cúrcuma, pistache, agrião, couve-flor, vagem e outros. A maioria dos estudos avaliaram as características físico-químicas e microbiológicas.

A taxa de dose variou conforme a fonte utilizada em cada estudo, sendo utilizada como principal fonte de radiação o cobalto-60 para irradiar as amostras, conforme quadro 2.

Quadro 2 – Dados referentes a características da radiação utiliza nos estudos selecionados

Autor	Taxa de radiação	Fonte de radiação
Bergers, 1981	O nível de dose de 0,1 Gy é dado em uma posição fixa em uma taxa de dose de 0,022 kGy / min e uma razão max / min de 1,16. Para 0,5 e 3 kGy o sistema de transporte foi usado, resultando em uma taxa de dose média de 0,1 kGy / min e um razão máx. / mín. de 1,2.	Cobalto 60
Mondy e Seetharaman, 1990	Não identificado	Cobalto 60
Dale <i>et al.</i> , 1997	A fonte de ¹³⁷ Cs entregou radiação de 0,6 MeV a uma taxa teórica de 4,6 Gy min ⁻¹ . A fonte ⁶⁰ Co entregou Radiação de 1 MeV a uma taxa teórica de 14,8 Gy min ⁻¹ no centro da amostra.	Cobalto 60 e célio 137
Fan, Niemira e Sokorai, 2003	Taxa de dose de 0,098 kGy	Célio 137
Ahn <i>et al.</i> , 2005	Taxa de dose de 5 kGy h ⁻¹ .	Cobalto-60
Bhat, Sridhar e Tomita-Yokotani, 2007	Taxa de dose 6,5 kGy / h	Cobalto-60

Pérez, Caldero e Croci, 2007	A taxa de dose foi de 5,5 Gy / s	Cobalto-60
Khattak <i>et al.</i> , 2009	A taxa de dose na posição de irradiação foi de 0,90 kGy / h no momento do tratamento.	Cobalto-60
Kim <i>et al.</i> , 2009	A força da fonte foi de aproximadamente 100 kCi com uma taxa de dose de 0,07 kGy / min.	Cobalto-60
Hussain <i>et al.</i> , 2010	Uma taxa de dose média de 0,195 kGy / h	Cobalto-60
Aouidi <i>et al.</i> , 2011	Uma taxa de dose de 15,64 Gy min ¹ para as amostras de folhas secas de oliveira em pó e com uma taxa de dose de 18,2 Gy min ¹ para as amostras de folhas de oliveira intactas secas.	Cobalto-60
El-Beltagi <i>et al.</i> , 2011	Taxa de dose 0,23 Gy / s	Cobalto-60
Pérez, Banek e Croci, 2011	A taxa de dose foi de 5,5 Gy / s	Cobalto-60
Afify <i>et al.</i> , 2012	Taxa de dose, 6,5 kGy / h	Cobalto-60
Mostafavi <i>et al.</i> , 2012.	taxa de dose de 0,3 Gy/s e atividade específica de 2300 Ci	Cobalto-60
Yang <i>et al.</i> , 2012	Não identificado	Cobalto-60
Tripathi <i>et al.</i> , 2013	Taxa de dose de 1,64 Gy/s	Cobalto-60
Hussain <i>et al.</i> , 2014	Taxa de dose de 185 Gy / h	Cobalto-60
Vaishnav, Adiani e Variyar, 2015	Taxa de dose de 3,34 kGy h ¹	Cobalto-60
Hussain <i>et al.</i> , 2016	Taxa de dose de 185 Gy / h	Cobalto-60
Pinela <i>et al.</i> , 2016	A taxa de dose estimada para a posição de irradiação foi de 1,6 kGy	Cobalto-60
Verma <i>et al.</i> , 2016	Taxa de dose de 1,0 kGy/h	Cobalto-60
Ornelas-Paz <i>et al.</i> , 2017	A taxa de dose foi de 0,637 Gy / s	Cobalto-60
Lahnine <i>et al.</i> , 2017	1,05 Gy / 7min.	Cobalto-60
Maraei <i>et al.</i> , 2017	Taxa de dose de 1,9 kGy/h	Cobalto-60
Abolhasani, Barzega e Sahari, 2018	Taxa de dose de 3,05 Gy / s.	Não identificado
Almeida <i>et al.</i> , 2018	Taxa de dose de radiação de 5,0 kGy/h.	Cobalto-60
Pinela <i>et al.</i> , 2018	Não identificado	Cobalto-60
Tripathi e Variyar, 2018	Taxa de dose de 1,45 Gy/s	Cobalto-60
Ashtari <i>et al.</i> , 2019	Não identificado	Cobalto-60
Zarbakhsh e	taxa de dose 0,4 G/s	Cobalto-60

Rastegar, 2019		
Krongrawa <i>et al.</i> , 2020	Taxa de dose de 4,0 kGy/h	Cobalto-60
Memon <i>et al.</i> , 2020.	A taxa de dose foi de 0,5 kGy por vinte minutos.	Cobalto-60
Shankar, Khodaei e Lacroix, 2021	Taxa de dose de 8 kGy/h.	Cobalto-60

O quadro 2 mostra que 92% dos estudos utilizaram como fonte de radiação gama o cobalto-60, sendo 3% o cézio-137 e 3% a fonte não identificada no estudo. A taxa de dose foi variada, porém com grupos semelhantes.

Os compostos glicoalcalóides foram estudados por Bergers (1981), Mondy e Seetharanam (1990), Dale *et al.* (1997) e Afify *et al.* (2012), os quais irradiaram batatas em doses de radiação semelhantes (0,03; 0,05; 0,1; 0,15), em períodos de análises variando de 9 semanas até 12 semanas, e utilizando HPLC para detectar e identificar os compostos. Os autores perceberam que a radiação gama teve pouco impacto, mostrando apenas uma leve diminuição sobre os compostos estudados em todas as doses aplicadas.

Vale ressaltar que, dependendo da cultivar, da dose de radiação absorvida e de alguma técnica associada à radiação gama houve variações nos níveis desses compostos nos estudos. Isso pode ser visto no estudo de Dale *et al.* (1997), que expuseram a batata à radiação gama de ^{60}Co as doses absorvidas de 0,05; 0,1; 0,15 e 0,45 kGy, e à luz ($\text{kmol s}^{-1} \text{m}^{-2}$) verificando que houve uma melhor redução dos compostos glicoalcalóides das amostras em comparação àquelas que não foram expostas a luz. O estudo de Mondy e Seetharaman (1990) mostrou que o tempo de armazenamento também influenciou na composição de glicoalcalóides. Os autores perceberam que as batatas analisadas um mês após a primeira análise apresentaram uma redução significativa nos compostos, porém ao se passarem três meses esse nível subiu substancialmente, mesmo quando irradiadas com doses absorvidas de 0,1; 0,3 e 1 kGy.

Afify *et al.* (2012) demonstraram em seus estudos que os teores de glicoalcalóides (especificamente a solanina) foram diminuídos levemente ou igualados às amostras controle com a radiação de 0,03; 0,05; 0,1 e 0,2 kGy. Bergers (1981) observou que, quando utilizadas doses de 0,1; 0,5 e 3 kGy em batatas, não ocorreu

influência nos compostos glicoalcalóides, em contrapartida a dose de 3 kGy levou ao aumento de compostos fenólicos.

Diferentemente dos glicoalcalóides, os compostos fenólicos sofreram maior influência da radiação gama no seu conteúdo dos artigos mostraram o aumento deles em suas amostras, utilizando desde 0,25 a 30 kGy em um período de análise que variou de 7 dias a 9 meses, com alguns trabalhos tendo outras técnicas associadas, tais como atmosfera modificada, embalagem a vácuo e aplicação de químicos.

As doses de radiação, assim como, as metodologias e avaliações, apesar de semelhantes, foram utilizadas em amostras diferentes como frutas, hortaliças, sementes e grãos. Porém a maioria obteve resultados parecidos em relação ao aumento de compostos fenólicos.

Dos estudos mais antigos como o de Fan, Niemira e Sokorai(2003), Ahn *et al.* (2005), Bhat, Sridhar e Tomita-Yokotani (2007), Pérez, Caldero e Croci, (2007), Khattak *et al.* (2009), Kim *et al.* (2009) e Hussain *et al.* (2010), apenas um mostrou mudança no que se refere à concentração de fenólicos, em contraste com o restante, que verificaram esse aumento.

Vale ressaltar que todos esses trabalhos utilizaram amostras de vegetais diferentes, como é o caso de Hussain *et al.* (2010) que, ao estudar por um período de 28 dias, a fenilalanina amônia-liase e atividade antioxidante do pêssgo irradiado, em doses de 1; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8 e 2 kGy, percebeu que o maior conteúdo fenólico total foi registrado nos frutos irradiados a 1,8 e 2,0 kGy. Com doses semelhantes, Ahn *et al.* (2005) irradiou o repolho e também constatou o aumento dos fenólicos a dose de 1 kGy. Porém, estes autores usaram concomitantemente a técnica da embalagem com atmosfera modificada. Em contrapartida, Fan *et al.* (2003) percebeu que os fenólicos não foram afetados durante o armazenamento do coentro irradiado a 1, 2 e 3 kGy.

Sementes de Cominho e sementes de mucuna foram estudados em relação às suas propriedades antioxidantes com doses altas (de 1 a 30 kGy) (KIM *et al.*, 2009; BHAT; SRIDHAR; TOMITA-YOKOTANI, 2007). Ambos os estudos identificaram em todas as doses aplicadas o aumento do conteúdo de fenólicos nas amostras.

O alecrim foi estudado por Pérez, Caldero e Croci (2007) e El-Beltagi *et al.* (2011) para avaliação de atividade antioxidante e conteúdo de fenólicos totais com doses da radiação ionizante que variaram de 0,005 a 30 kGy. Pérez, Caldero e Croci (2007) perceberam que, ao utilizar vários métodos de extração, a dose de 30 kGy

aplicada às folhas de alecrim não afeta significativamente o conteúdo fenólico total nos extratos de metanol e etanol. No extrato aquoso, entretanto, observou-se aumento significativo, da ordem de 35%, nas concentrações desses compostos após o tratamento. Já El-Beltagi *et al.* (2011) verifica que a dose de 0,02 kGy aumentou positivamente o acúmulo de produtos secundários de fenóis totais e flavonóides totais.

Ao irradiar rizomas de lótus, Khattak *et al.* (2009) verificou que irradiação gama com dose de 6kGy afetou significativamente o conteúdo fenólico, aumentando de 5,35 para 5,88 mg g a concentração no extrato de acetona.

Dos estudos mais recentes (2011 à 2021) apenas 4 artigos verificam que a irradiação não modificou os teores de fenólicos em suas amostras, como foi mostrado por Aouidi *et al.* (2011) irradiando folhas de oliveiras, com doses que variaram de 5 a 25 kGy, assim como, o estudo de Pérez *et al.* (2011) irradiando a sálvia e orégano com doses de 30 kGy. Com resultados semelhantes, a cúrcuma e a romã também foram avaliadas com aplicação de doses de 1 a 25 kGy, não sendo observados resultados favoráveis à alterações desses compostos (ALMEIDA *et al.* 2018; ASHTARI *et al.* 2019).

Ao utilizar doses semelhantes para irradiar o agrião armazenado a 4º C, Pinela *et al.* (2016) e Pinela *et al.* (2018) avaliaram, dentre os vários parâmetros estudados, o conteúdo fenólico total, utilizando métodos diferentes de identificação e quantificação. Enquanto que Pinela *et al.* (2016) utilizou o método de Folin-Ciocalteu para a quantificação dos compostos, Pinela *et al.* (2018) utilizou as técnicas de HPLC e UV-vis e e também associou à técnica de irradiação, a técnica de embalagem dear. Ambos os estudos notaram que a irradiação gama mantém e/ou aumenta os teores dos compostos fenólicos, onde a melhor dose apresentada foi a de 5kGy, mostrando nessa dose aumento no teor dos compostos fenólicos com e sem embalagem, no período pós-colheita após 7 dias de armazenamento.

A cebola e sua casca foram avaliadas quanto ao efeito da radiação em suas propriedades fitoquímicas, para a casca foi usada uma dose alta (1; 2,5; 5 e 10kGy) e para a cebola verde, doses baixas (0,5; 1 e 1,5 kGy). Em ambos os estudos foram observados os aumentos dos componentes fenólicos. Para a irradiação de casca de cebola, a radiação gama, suficiente para quebrar as ligações químicas ou físicas e liberar fenóis solúveis de baixo peso molecular, foi de 10 kGy. Para a irradiação da cebola verde, foi utilizado o tratamento combinado de radiação ionizante à dose 1,0

kGy com benzoato de sódio, sendo este considerado mais eficaz durante o armazenamento de 16 dias (YANG *et al.*, 2012; MEMON *et al.*, 2020).

A casca verde do pistache também foi estudada, onde doses de 10, 20, 30 e 40 kGy foram utilizadas para avaliar a atividade antioxidante e inibitória da tirosinase. Foi observado que a radiação ionizante pode aumentar a quantidade de compostos fenólicos totais do extrato aquoso em comparação com a amostra não irradiada, sendo as doses de 20 e 30 kGy as que apresentaram níveis maiores (ABOLHASANI, BARZEGA E SAHARI, 2018).

Maraei *et al.* (2017) e Shankar, Khodaei e Lacroix (2021) avaliaram as propriedades físico-químicas, qualidade e conteúdo fitoquímico de morangos irradiados a 0,3; 0,6; 0,9 e 1 kGy e constataram o aumento de componentes fenólicos. Para o primeiro estudo, frutos de morango tratados com 0,6 kGy apresentaram o maior conteúdo fenólico total e atividade antioxidante, seguidos por 0,3 kGy. No segundo estudo, os autores observaram que a utilização de filmes ativos na embalagem combinado com a irradiação gama, ajudou a reter mais compostos fenólicos no morango, ao mesmo tempo que não influenciou na perda de massa, teor de antocianinas, sólidos solúveis totais, firmeza e parâmetros de cor do fruto. Os estudos constataram que óleos essenciais (EOs), nanopartículas de prata (AgNPs) e irradiação podem estabilizar a qualidade dos morangos por quatro dias através da estabilização do nível de decomposição.

Os parâmetros físico-químicos, incluindo umidade, sólidos solúveis totais, atividade antioxidante, conteúdo fenólico e firmeza da Maçã irradiada com 0,3; 0,6; 0,9 e 1,2 kGy foram avaliados durante o armazenamento refrigerado por 9 meses, em intervalos de três meses. Doses iguais ou superiores a 0,9 kGy diminuíram significativamente o conteúdo fenólico e a atividade antioxidante, enquanto as doses de 0,3 e 0,6 kGy, combinadas com armazenamento refrigerado, reteve significativamente as características estudadas (MOSTAFAVI *et al.*, 2012).

Tripathi *et al.* (2012) utilizaram temperaturas baixas no armazenamento de cabaça de cera e observaram que as condições ideais de processamento (2 kGy e 10 °C) resultaram em maior tempo de prateleira de sete dias em comparação com os controles não irradiados e maior conteúdo fenólico total e atividade antioxidante total foram observados nas amostras irradiadas em comparação ao controle, permanecendo quase constante por 8 dias.

Ao utilizar doses de radiação absorvida de 0,75 kGy e 1,0 kGy ou em combinação com ácido ascórbico a 2,0%, Hussain *et al.* (2014) observaram que ocorreu um aumento significativo nos fenóis totais de berinjela minimamente processada logo após o tratamento. Aumentos percentuais foram de 2,1% e 4,4% nos fenóis totais em amostras tratadas com ácido ascórbico a 2,0%, seguida de irradiação a 0,75 e 1,0 kGy, o aumento foi ainda maior nos fenóis totais, sendo 3,8% e 6,4%, respectivamente. Corroborando com estes resultados, Hussain *et al.* (2016) avaliou o conteúdo de compostos bioativos e atividade antioxidante do feno-grego e do espinafre irradiado a 0,25; 0,5; 0,75; 1; 1,25 e 1,5 kGy. Os autores observaram um comportamento dose-dependente entre a exposição a radiação e a concentração de fenóis acima de 0,75 kGy para ambos os vegetais estudados.

A couve-flor minimamente processada e irradiada armazenadas a 4 °C por 21 dias, foi estudada quanto à qualidade nutricional, propriedades físico-química e sensorial. A observação ocorreu em intervalos de 0, 7, 14 e 21 dias. A dose de radiação ionizante de 0,5 kGy melhorou a qualidade microbiana aumentou a atividade antioxidante e o conteúdo fenólico total e estendeu a vida útil em 7 dias sem perdas significativas nos atributos de qualidade. Em contra partida, nenhum efeito foi notado na textura, teor total de ascorbato e teor de flavonóides (VAISHNAV, ADIANI E VARIYAR, 2015).

O feijão foi investigado por Verma *et al.* (2016), com o intuito de observar a ação da radiação ionizante gama, em diferentes doses (1,0, 2,5 e 5,0 kGy), nas propriedades antioxidantes do feijão, em diferentes teores de umidade (10, 12 e 14%). O conteúdo fenólico total aumentou com doses de 1 e 2,5 kGy com 12% de umidade. Já para a dose de 5 kGy, o teor de fenólicos diminuiu em 15% em comparação com o controle.

Tangerinas foram expostas a doses absorvidas de 0,15; 0,4 e 1 kGy de radiação gama e armazenadas por três semanas a 6 °C e, posteriormente, por uma semana a 20°C. Apesar de ter ocorrido o aumento de compostos fenólicos, as doses de 0,4 e 1 kGy promoveram escurecimento da extremidade do cálice e não conseguiram evitar a infecção fúngica. Neste experimento também foi observado reduções imediatas na firmeza da polpa da tangeria, e diminuição dos teores de vitamina E, açúcar e carotenóides individuais (ORNELAS-PAZ et al., 2017).

Com o objetivo de verificar a utilidade da radiação gama em baixas doses (0,25; 0,5 e 1kGy) combinada ao acondicionamento a vácuo em chás comerciais de *Thymus*

satureioides deliberadamente contaminados com *Escherichia coli*, Lahnine *et al.* (2017) observaram que, no início do tratamento, o teor de fenólico total, a 1kGy não se alterou, sendo igual ao teor encontrado nas amostras controles. O tomilho irradiado em 0,5 ou 0,25kGy mostra uma concentração mais baixa, não mostrando efeito da radiação gama nesses compostos.

Vagem de moringueiro pronto para cozinhar foi avaliado quanto ao efeito do tratamento com radiação nas doses de 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 e 2,5 kGy, com armazenamento a 10 °C por 15 dias. Uma vida útil melhorada de 12 dias foi alcançada para amostras tratadas com radiação ionizante, na dose de 1 kGy, sendo observadas a qualidade sensorial e microbiana adequadas. Também foi observado que os constituintes fenólicos e o conteúdo de isotiocianatos foram melhores retidos no produto processado por radiação em comparação com as amostras controles, no final do período de armazenamento pretendido (TRIPATHI E VARIYAR, 2018).

Zarbaksh e Rastegar (2019), ao irradiarem tâmaras com doses de 1, 3 e 5 kGy, com posterior armazenamento a 25 ± 2 °C, observaram que, com o tempo de armazenamento, o conteúdo de fenólico total foi reduzido, mas a radiação teve um efeito significativo na manutenção do conteúdo fenólico total das amostras: quanto maior a dose de radiação maior o aumento no teor de fenol. Os autores também concluíram que as altas doses de radiação tiveram um efeito importante na redução da carga microbiana e fúngica.

Krongrawa *et al.* (2020) estudaram rizomas de gengibre preto, sob atmosfera de vácuo e ar, com o objetivo de avaliar os efeitos da radiação gama (0, 5, 7,5 e 10 kGy) sobre o conteúdo fitoquímico, atividades biológicas e cargas microbiana. Os autores observaram que os conteúdos de metoxiflavonas e compostos fenólicos aumentaram com o aumento da dose de radiação gama. Os maiores teores de metoxiflavonas e compostos fenólicos foram observados em rizomas irradiados com 7,5 kGy embalados em atmosfera de ar.

5 CONCLUSÃO

Verificou-se uma escassez de material a respeito dos efeitos da radiação gama em compostos glicoalcalóides, principalmente estudos atuais, enquanto para trabalhos envolvendo compostos fenólicos e radiação gama foram relativamente abundantes quando comparado com glicoalcalóides. Foi notado também que todos os estudos encontrados com glicoalcalóides foram com batatas, uma vez que este alimento de origem vegetal ganha destaque quando comparado aos demais, por apresentar maior teor desse composto. Referente aos fenólicos foi possível observar uma maior variedade de vegetais estudados.

Constatou-se que a radiação gama foi ineficaz para alterar a composição de glicoalcalóides nas variedades de batatas analisadas. No entanto, para fenólicos (mesmo os que utilizaram alguma técnica associada, como umidade controlada e atmosfera modificada), a radiação apresentou efeito em praticamente todos os vegetais avaliados, independentemente se a parte vegetal avaliada fosse sementes ou frutos.

Vale salientar que pesquisas com essa temática necessitam de mais estudos para comprovar a eficiência da radiação gama nesses compostos, visto que a utilização da tecnologia da irradiação de alimentos é promissora para conservação principalmente de alimentos de origem vegetal, devido ao seu potencial em garantir a qualidade sensorial, físico-química, nutricional e microbiológica desses alimentos, possibilitando maior segurança alimentar ao consumidor, ao mesmo tempo que podem contribuir com questões de saúde pública e fortalecimento da economia.

REFERÊNCIAS

- ABOLHASANI, A.; BARZEGAR, M.; SAHARI, M. A. Effect of gamma irradiation on the extraction yield, antioxidant, and antityrosinase activities of pistachio green hull extract. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 144, p. 373-378, 2018.
- ADETUNJI, C. O. *et al.* General principle of primary and secondary plant metabolites: Biogenesis, metabolism, and extraction. In: **Preparation of Phytopharmaceuticals for the Management of Disorders**. Academic Press, p. 3-23, 2021.
- AFIFY, A. E. M.R. *et al.* The Impact of γ -Irradiation, Essential Oils and Iodine on Biochemical Components and Metabolism of Potato Tubers During Storage. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 40, n. 2, p. 129-139, 2012.
- AHN, H., *et al.* Combined effects of irradiation and modified atmosphere packaging on minimally processed Chinese cabbage (*Brassica rapa* L.). **Food Chemistry**, v. 89, n. 4, p. 589-597, 2005.
- ALARA, O. R.; ABDURAHMAN, N. H.; UKAEGBU, C. I.. Extraction of phenolic compounds: A review. **Current Research in Food Science**, 2021.
- ALMEIDA, M. C. *et al.* Effect of gamma radiation processing on turmeric: Antioxidant activity and curcumin content. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 152, p. 12-16, 2018.
- ALOZIE, S.O.; SHARMA, R.P.; SALUNKHE, D.K. Inhibition of rat cholinesterase isoenzymes in vitro and in vivo by the potato alkaloid, α -chaconine. **J. Food Biochem.**, 2, pp. 259-276, 1979.
- ANGELO, Priscila Milene; JORGE, Neuza. Compostos fenólicos em alimentos - uma breve revisão. **Rev. Inst. Adolfo Lutz** (Impr.), São Paulo, v. 66, n. 1, 2007
- ANON. CODEX-STAN - 1 2005 Rotulagem de alimentos pré-embalados. 2005. Disponível em: http://www.codexalimentarius.net/download/standards/32/CXS_001e.pdf acesso em 23/09/2021.
- AOUIDI, F. *et al.* Gamma irradiation of air-dried olive leaves: Effective decontamination and impact on the antioxidative properties and on phenolic compounds. **Food Chemistry**, v. 127, n. 3, p. 1105-1113, 2011.
- ARAÚJO, Liderlânio de Almeida. **Influência da radiação gama na composição química do tomate (*Solanum Lycopersicum*)**. Dissertação (Mestrado em Saúde Humana e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Pernambuco, CAV, Saúde Humana e Meio Ambiente, 2016.
- ARRUDA, H. S. *et al.* Effects of high-intensity ultrasound process parameters on the phenolic compounds recovery from araticum peel. **Ultrasonics sonochemistry**, v. 50, p. 82-95, 2019.

ARTHUR, V. *et al.* Irradiação de mandioca minimamente processada. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, 2016.

ASHTARI, M. *et al.* Effect of gamma irradiation on antioxidants, microbiological properties and shelf life of pomegranate arils cv. 'Malas Saveh'. **Scientia Horticulturae**, v. 244, p. 365-371, 2019.

BARKAI-GOLAN, Rivka; FOLLETT, Peter A. **Irradiation for quality improvement, microbial safety and phytosanitation of fresh produce**. Academic Press, 2017.

BERGERS, Willem WA. Investigation of the contents of phenolic and alkaloidal compounds of gamma irradiated potatoes during storage. **Food Chemistry**, v. 7, n. 1, p. 47-61, 1981.

BHAT, R.; SRIDHAR, K. R.; TOMITA-YOKOTANI, K. Effect of ionizing radiation on antinutritional features of velvet bean seeds (*Mucuna pruriens*). **Food Chemistry**, v. 103, p. 860-866, 2007.

BLANKEMEYER, J.T.; ATHERTON, R.; FRIEDMAN, M. Effect of potato glycoalkaloids α -chaconine and α -solanine on sodium active transport in frog skin. **J. Agric. Food Chem.**, 43, pp. 636-639, 1995.

BLANKEMEYER, J.T.; STRINGER, B.K.; RAYBURN, J.R.; BANTLE, J.A.; FRIEDMAN, M. Effect of potato glycoalkaloids, α -chaconine and α -solanine on membrane potential of frog embryos. **J. Agric. Food Chem.**, 40, pp. 2022-2025, 1992.

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução nº 21, de 26 janeiro 2001**, Disponível em: http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/21_01rdc.htm; Acesso em: 10/02/2021.

CÁRDENAS, P.D. *et al.* The bitter side of the nightshades: genomics drives discovery in Solanaceae steroidal alkaloid metabolism. **Phytochemistry**, 113:24-32, 2015.

CHANG, S. K.; ALASALVAR, C.; SHAHIDI, F.. Review of dried fruits: Phytochemicals, antioxidant efficacies, and health benefits. **Journal of Functional Foods**, v. 21, p. 113-132, 2016.

CHAUBE, S.; SWINYARD, C. A. Teratological and toxicological studies of alkaloidal and phenolic compounds from *Solanum Tuberosum* L. **Toxicology and Applied Pharmacology**, 36(2), 227-237, 1976.

CHEYNIER, V. Phenolic compounds: from plants to foods *Phytochemistry Rev.*, 11, pp. 153-177, 2012.

D'ARCHIVIO, M. *et al.* **Polyphenols, dietary sources and bioavailability** *Ann. Ist. Super Sanita*, 43, pp. 348-361, 2007.

DAI, J.; MUMPER, R. J. **Plant phenolics: extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties**. *Molecules*, 15 , pp. 7313-7352, 2010.

DALE, M. F. B. *et al.* The effect of gamma irradiation on glycoalkaloid and chlorophyll synthesis in seven potato cultivars. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 75, n. 2, p. 141-147, 1997.

DALVI, R.R. Comparative assessment of the effect of solanine administered orally and intraperitoneally on hepatic dysfunction in male rats. **Jpn. J. Vet. Sci.**, 47, pp. 657-659, 1985.

EHLERMANN, D.A.E. Wholesomeness of irradiated food. **Radiation Physics and Chemistry**, pp. 24-29, 129, 2016.

EL-BELTAGI, H. S.; AHMED, O. K.; EL-DESOUKY, W. Effect of low doses γ -irradiation on oxidative stress and secondary metabolites production of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) callus culture. **Radiation Physics and chemistry**, v. 80, n. 9, p. 968-976, 2011.

ELKAHOUI, S. *et al.* Dietary supplementation of potato peel powders prepared from conventional and organic Russet and non-organic gold and red potatoes reduces weight gain in mice on a highfat diet. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 2018.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cultivares**. Embrapa Hortaliças: Sistemas de Produção, Versão eletrônica; 2ª Edição, 2015. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/132923/1/Sistema-de-Producao-da-Batata.pdf>. Acessado em 19/08/2021.

FAN, X.; NIEMIRA, B. A.; SOKORAI, K. J. B. Sensorial, nutritional and microbiological quality of fresh cilantro leaves as influenced by ionizing radiation and storage. **Food Research International**, v. 36, n. 7, p. 713-719, 2003.

FRIEDMAN, M., *et al.* Potato peels and their bioactive glycoalkaloids and phenolic compounds inhibit the growth of pathogenic trichomonads. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 66, 7942–7947, 2018.

FRIEDMAN, M.; KOZUKUEB, N.; KIMC, H.; CHOIB, S., MIZUNOD, M. Glycoalkaloid, phenolic, and flavonoid content and antioxidative activities of conventional nonorganic and organic potato peel powders from commercial gold, red, and Russet potatoes. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 62, p. 69-75, 2017.

FRIEDMAN, Mendel. Potato glycoalkaloids and metabolites: roles in the plant and in the diet. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 23, p. 8655-8681, 2006.

FRIEDMAN, Mendel; RASOOLY, Reuven. Review of the inhibition of biological activities of food-related selected toxins by natural compounds. **Toxins**, v. 5, n. 4, p. 743-775, 2013.

FRIMPONG, G. K., KOTTOH, I. D.; DO LARB, O. D. Gamma radiation's effect on the microbiological quality carrot and minimally processed lettuce: A study case in the region of Greater Accra Ghana. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 110, p. 1216, 2015.

GIOXARI, A. *et al.* Phenolic compounds: bioavailability and health effects. **Encyclopedia of Food and Health**. Pages 339-345, 2016.

HARRIS, H.; WHITTAKER, M. Differential inhibition of the serum cholinesterase phenotypes by solanine and solanidine. **Ann. Hum. Genet.**, 26, pp. 73-76, 1962.

HARVEY, M.H., *et al.* Measurement of potato steroidal alkaloids in human serum and saliva by radioimmunoassay. **Hum. Toxicol.**, 4, pp. 503-512, 1985.

HASANAIN, M. *et al.* α -Solanine induces ROS-mediated autophagy through activation of endoplasmic reticulum stress and inhibition of Akt/mTOR pathway. **Cell death & disease**, v. 6, n. 8, p. e1860-e1860, 2015.

HOSSAIN, M. B., *et al.* Recovery of steroidal alkaloids from potato peels using pressurized liquid extraction. **Molecules**, 20, 8560–8573, 2015.

HUSSAIN, P. R. *et al.* Effect of combination treatment of gamma irradiation and ascorbic acid on physicochemical and microbial quality of minimally processed eggplant (*Solanum melongena* L.). **Radiation physics and chemistry**, v. 103, p. 131-141, 2014.

HUSSAIN, P. R. *et al.* Gamma irradiation induced enhancement of phenylalanine ammonia-lyase (PAL) and antioxidant activity in peach (*Prunus persica* Bausch, Cv. Elberta). **Radiation Physics and Chemistry**, v. 79, n. 9, p. 982-989, 2010.

HUSSAIN, P. R. *et al.* Influence of postharvest gamma irradiation treatment on the content of bioactive compounds and antioxidant activity of fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.) and spinach (*Spinacia oleracea* L.) leaves. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 33, p. 268-281, 2016.

IAEA – International Atomic Energy Agency. **Manual of Good Practice in Food Irradiation**. Technical Report Series No.481. IAEA, Vienna, 2015.

JECFA - Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Evaluation of certain food additives and naturally occurring toxicants. WHO Technical Report Series 828, WHO, Geneva, Switzerland, 1992.

JECFA - Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Solanine and chaconine. In: Toxicological evaluation of certain food additives and naturally occurring toxicants, WHO Food Additive Series: 30. World Health Organization, Geneva, 1993.

JEONG, I. Y.; LEE, H. J.; PARK, Y. D.; JIN, C. H.; CHOI, D. S.; BYUN, M. W. Effects of gamma Irradiation on total polyphenols, radical scavenging activities and

decolourization of *Nelumbo Nucifera* extracts, **Radiation Physics and Chemistry**, v.78, p. 575–577, 2009.

KHANBABAE, K.; VAN REE, T.. **Tannins: classification and definition**. Nat. Prod. Rep., 18, pp. 641-649, 2001.

KHATTAK, K.F., *et al.* Effect of gamma irradiation on the microbial load, nutrient composition and free radical scavenging activity of *Nelumbo nucifera* rhizome. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 78, n. 3, p. 206-212, 2009.

KIM, J. H. *et al.* Role of gamma irradiation on the natural antioxidants in cumin seeds. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 78, n. 2, p. 153-157, 2009.

KIRUI K. *et al.* Glycoalkaloid Content of Some Superior Potato Clones and Commercial Varieties. **Archives of Phytopathology and Plant Protection**; 42:453-463: 2009.

KOH, E.; KAFFKA S., MITCHELL A.E.. A long-term comparison of the influence of organic and conventional crop management practices on the content of the glycoalkaloid α -solanine in tomatoes. **Jour. of the Sci. of Food and Agric.**, 93(7), 1537-1542, 2013.

KORPAN, Y. I. *et al.* Potato glycoalkaloids: true safety or false sense of security?. **Trends in biotechnology**, v. 22, n. 3, p. 147-151, 2004.

KOSEKI, P.M. *et al.* Effects of irradiation in medicinal and eatable herbs. **Radiation Physics and Chemistry**. v. 63, p. 681–684, 2002.

KRONGRAWA, W., *et al.* Effects of gamma irradiation under vacuum and air packaging atmospheres on the phytochemical contents, biological activities, and microbial loads of *Kaempferia parviflora* rhizomes. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 173, p. 108947, 2020.

LAHNINE, L., *et al.* Decontamination by gamma irradiation at low doses of *Thymus satyroides* and its impact on physico-chemical quality. **Food and Bioproducts Processing**, v. 104, p. 48-56, 2017.

LANGKILDE, S., *et al.* A 28-day repeat dose toxicity study of steroidal glycoalkaloids, α -solanine and α -chaconine in the Syrian Golden hamster. **Food and Chemical Toxicology**, 47(6), 1099–1108, 2009.

LANGKILDE, S., *et al.* Acute toxicity of high doses of the glycoalkaloids, α -solanine and α -chaconine, in the syrian golden hamster. **J. Agric. Food Chem.**, 56, pp. 8753-8760, 2008.

LEVY, D., RABINOWITCH, H.D. **Potatoes**. Encyclopedia of applied plant Sciences, 2. 39–44, 2017.

LIMA, I. S. M. **Aspectos microbiológicos pré e pós-irradiação de amostras de colorau e cominho comercializadas nas feiras livres do Recife**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. - Recife: O Autor, 2013.

LIN, T.; OQANI, R. K.; LEE, J. E.; KANG, J. W.; KIM, S. Y.; CHO, E. S.; JIN, D. I. α -Solanine impairs oocyte maturation and quality by inducing autophagy and apoptosis and changing histone modifications in a pig model. **Reproductive Toxicology**, 75, 96–109, 2018.

LORO, A. C.; BOTTEON, V. W.; SPOTO, M. H. F.. Quality parameters of tomatoes submitted to different doses of gamma radiation. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, 2018.

MAHTO, R.; DAS, M. Effect of gamma irradiation on the physico-mechanical and chemical properties of potato (*Solanum tuberosum* L.), cv. 'Kufri Sindhuri', in non-refrigerated storage conditions. **Postharvest biology and technology**, v. 92, p. 37-45, 2014.

an

MANACH, C. *et al.* Polyphenols: food sources and bioavailability. **The American Journal for Clinical Nutrition**, v. 79, p. 727–47, 2006.

MARAEI, R. W.; ELSAWY, K. M. Chemical quality and nutrient composition of strawberry fruits treated by γ -irradiation. **Journal of Radiation Research and Applied Sciences**, v. 10, n. 1, p. 80-87, 2017.

MARTINS, C.G. **Irradiação de agrião (*Nasturtium officinale*) minimamente processado: aspectos microbiológicos e sensoriais** (Dissertação). Universidade de São Paulo, São Paulo - SP, 2004.

MCGEHEE, D.S., *et al.* Cholinesterase inhibition by potato glycoalkaloids slows mivacurium metabolism. **Anesthesiology**, 93, pp. 510-519, 2000.

MECHI, R.; CANIATTI-BRAZACA, S.G.; ARTHUR, V. Avaliação química, nutricional e fatores antinutricionais do feijão preto (*Phaseolus vulgaris* L.) irradiado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 25:1, p. 109–114, 2005.

MEMON, N., *et al.* Combined effect of chemical preservative and different doses of irradiation on green onions to enhance shelf life. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 19, n. 3, p. 207-215, 2020.

MENSINGA, T. T., *et al.* Potato glycoalkaloids and adverse effects in humans: an ascending dose study. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, v. 41, n. 1, p. 66-72, 2005.

MICHALSKA, L.; NAGEL, G.; SWINIARSKI, E.; ZYDOWO, M.M. The effect of α -solanine on the active calcium transport in rat intestine. **Gen. Pharmacol.**, 16, pp. 69-70, 1985.

MÍDIO, A.F.; MARTINS, D.I. **Toxicologia de alimentos**. São Paulo: Varela, 2000

MONDY, N. I.; SEETHARAMAN, K. Effect of irradiation on total glycoalkaloids in Kennebec and Russet Burbank potatoes. **Journal of food science**, v. 55, n. 6, p. 1740-1742, 1990.

MOSTAFAVI, H. A. *et al.* Gamma radiation effects on physico-chemical parameters of apple fruit during commercial post-harvest preservation. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 81, n. 6, p. 666-671, 2012.

MOURA, NEILA C. *et al.* Avaliação sensorial de feijão preto submetido à radiação de cobalto-60. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 2005.

NASSUR, R.C.M.R.; LIMA, R.A.Z.; LIMA, L.C.O.; CHALFUN, N.N.J. Doses de radiação gama na conservação da qualidade de morangos. *Comunicata Scientiae* 7(1): 38-48, 2016.

NAUMANN, H.D., *et al.* **The role of condensed tannins in ruminant animal production: advances, limitations and future directions**. *Rev. Bras. Zootec.*, 46, pp. 929-949, 2017.

NEMA, P.K. *et al.* K. Review: Potato glycoalkaloids: formation and strategies for mitigation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 88, p. 1869–1881, 2008.

NICHOLSON, J.; MCCRILLIS, A.; WILLIAMS, J.D. Collaboration challenges in systematic reviews: a survey of health sciences librarians. **J Med Libr Assoc.** 105:385-93, 2017.

NIE, H., *et al.* Retrogradation, gel texture properties, intrinsic viscosity and degradation mechanism of potato starch paste under ultrasonic irradiation. **Food Hydrocolloids**, v. 95, p. 590-600, 2019.

NISHIE, K.; GUMBMAN, M.R.; KEYL, A.C. Pharmacology of solanine. **Toxicol. Appl. Pharmacol.**, 19, pp. 81-92, 1971.

NÓBREGA, A. I. (Org.) **Tecnologia radiológica e diagnóstico por imagem**, volume 4: saúde e formação profissional. – 6.ed. – São Caetano do Sul, SP: Difusora Editora, 2017.

NORRED, W.P.; NISHIE, K.; OSMAN, S.F. Excretion, distribution and metabolic fate of 3H- α -chaconine. **Res. Commun. Chem. Pathol.**, 13, pp. 161-171, 1976.

NUNOO, J.; E. K.; AMOATEY, H. M.; KLU, G. Y. P. Effect of recurrent irradiation on the improvement of a variant line of wild tomato (*Solanum pimpinellifolium*). *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, v. 7, p. 377 - 383. 2014.

OLIVEIRA, L.C. Present situation of food irradiation in South America and the regulatory perspectives for Brazil. **Radiat. Phys. Chem.**, v. 57, p. 249-252, 2000.

OMS – Organização Mundial da Saúde. High-dose irradiation: Wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy (Vol. 890) World Health Organization, 1999.

ORDÓÑEZ, J. A. **Tecnologia de alimentos**: componentes dos alimentos e processos. Porto Alegre: Artmed, v. 1, p. 203-204, 2005.

ORNELAS-PAZ, J. J. *et al.* Effect of phytosanitary irradiation on the postharvest quality of Seedless Kishu mandarins (*Citrus kinokuni mukakukishu*). **Food chemistry**, v. 230, p. 712-720, 2017.

PATIL, B.C., *et al.* Evaluation of solanine toxicity. **Food Cosmet. Toxicol.**, 10, pp. 395-398, 1972.

PÉREZ, M. B.; BANEK, S. A.; CROCI, C. A. Retention of antioxidant activity in gamma irradiated argentinian sage and oregano. **Food Chemistry**, v. 126, n. 1, p. 121-126, 2011.

PÉREZ, M. B.; CALDERON, N. L.; CROCI, C. A. Radiation-induced enhancement of antioxidant activity in extracts of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). **Food chemistry**, v. 104, n. 2, p. 585-592, 2007.

PIMENTEL, Rodrigo Meirelles de Azevedo. **Efeito da irradiação gama em mamão papaia (Carica papaya L.) colhido em três pontos de maturação**. Universidade de São Paulo - Piracicaba, 2001.

PINELA, J. *et al.* Postharvest changes in the phenolic profile of watercress induced by post-packaging irradiation and modified atmosphere packaging. **Food chemistry**, v. 254, p. 70-77, 2018.

PINELA, J. *et al.* Suitability of gamma irradiation for preserving fresh-cut watercress quality during cold storage. **Food Chemistry**, v. 206, p. 50-58, 2016.

RAGAB, E. *et al.* Minimizing postharvest losses in potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber using gamma irradiation, mint oil and paclobutrazol under unrefrigerated storage condition. **J. Agric. Sci.**, Ain Shams Univ., Cairo, 25(9), 169-178, 2017.

ROBERTS, P. B. Food irradiation: Standards, regulations and world-wide trade. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 129, p. 30-34, 2016.

RODRIGUES, A. **Avaliação da irradiação como método de conservação pós-colheita de mini tomates e concepção da opinião de consumidores sobre alimentos irradiados** (TCC). Universidade de São Paulo – Piracicaba – SP, Nov. 2014.

SALEM, I. B. *et al.* Effect of ionising radiation on polyphenolic content and antioxidant potential of parathion-treated sage (*Salvia officinalis*) leaves. **Food chemistry**, v. 141, n. 2, p. 1398-1405, 2013.

SANTOS, G.H.F.; AMARAL, A.S.; SILVA, E.B. Antibacterial activity of irradiated extracts of *Anacardium occidentale* L. on multiresistant strains of *Staphylococcus aureus*. **Applied Radiation and isotopes**, v. 140, p.327-332, 2018.

SANTOS, G.H.F.; SILVA, E.B.; SENA, K.X.F.R.; SILVA, B.L.; LIMA, C.S.A. The influence of ^{60}Co gamma radiation on the action of phenolic compounds of *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan in the microbiological control of crude extracts. **International Journal Low Radiation**, v. 7, p. 223-235. 2010.

SANTOS, G.H.F.; SILVA, E.B.; SILVA, B.L.; SENA, K.X.F.R.; LIMA, C.S.A. Influence of gamma radiation on the antimicrobial activity of crude extracts of *Anacardium occidentale* rich in tannins. **Brazilian of Journal of. Pharmacognosy**, v. 21, p. 444-449. 2011.

SHAH, S.R. *et al.* Evaluation of antioxidant and antibacterial activities of the stems of *Flammulina velutipes* and *Hypsizygus tessellatus* (white and brown var.) extracted with different solvents. **J. Food Meas. Charact**, 2018.

SHANKAR, S.; KHODAEI, D.; LACROIX, M. Effect of chitosan/essential oils/silver nanoparticles composite films packaging and gamma irradiation on shelf life of strawberries. **Food Hydrocolloids**, v. 117, p. 106750, 2021.

SHARMA, R.P.; TAYLOR, M.J.; BOURCIER, D.R. Subcellular distribution of α -chaconine in mouse hepatocytes. **Drug Chem. Toxicol.**, 6, pp. 219-234, 1983.

SIDDAWAY, A.P.; WOOD, A.M.; HEDGES, L.V. How to do a systematic review: a best practice guide for conducting and reporting narrative reviews, meta-analyses, and meta-syntheses. **Annu Rev Psychol**. 70:747- 70, 2019.

SILVA JUNIOR, E.A. **Manual de controle higiênico sanitário em serviços de alimentação**. 7.ed.- São Paulo: Livraria Varela, 2014

SILVA, M. H. **Efeitos da radiação gama do cobalto-60 em sementes de café arábica e conillon: avaliação físico-química**. (Dissertação). Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, 2012.

SLÁMOVÁ, K.; KAPEŠOVÁ, J.; VALENTOVÁ, K. "Sweet flavonoids": Glycosidase-catalyzed modifications. **International journal of molecular sciences**, v. 19, n. 7, p. 2126, 2018.

SOARES, I.G.M., *et al.* Physico-chemical and sensory evaluation of potato (*Solanum tuberosum* L.) after irradiation. **An Acad Bras Cienc** 88 (2), 2016.

SOUZA, M. A. M. Determinação da dose de radiação ionizante para conservação de três cultivares híbridos de cebola (*Allium cepa* L.). 2014. 60 p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

TIAGO, O. *et al.* Plant secondary metabolites and its dynamical systems of induction in response to environmental factors: a review. **Afr. J. Agric. Res.**, 12, pp. 71-84, 2017.

TOLEDO, T.C.F.; CANNIATTI-BRAZACA, S.G.; ARTHUR, V.; PIEDADE, S.M.S. Effects of gamma radiation on total phenolics, trypsin and tannin inhibitors in soybean grains. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 76, p. 1653–1656, 2007.

TOYODA, M.; RAUSCH, W.D.; INOUE, K.; OHNO, Y.; FUJIYAMA, Y.; TAKAGI, K.; SAITO, Y. Comparison of solanaceous glycoalkaloids-evoked calcium influx in different types of cultured cells. **Toxicol. In Vitro**, 5, pp. 347-351, 1991.

TRIPATHI, J.; VARIYAR, P. S. Effect of gamma irradiation on the shelf-life and physico-chemical quality of ready-to-cook (RTC) drumstick (*Moringa oleifera*) pods. **LWT**, v. 88, p. 174-180, 2018.

TRIPATHI, J. *et al.* Gamma irradiation increases storability and shelf life of minimally processed ready-to-cook (RTC) ash gourd (*Benincasa hispida*) cubes. **Postharvest biology and technology**, v. 76, p. 17-25, 2013.

VAISHNAV, J.; ADIANI, V.; VARIYAR, P. S. Radiation processing for enhancing shelf life and quality characteristics of minimally processed ready-to-cook (RTC) cauliflower (*Brassica oleracea*). **Food Packaging and Shelf Life**, v. 5, p. 50-55, 2015.

VERMA, M. *et al.* Moisture-mediated effects of γ -irradiation on antioxidant properties of mung bean (*Vigna radiata* L.) cultivars. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 34, p. 59-67, 2016.

VUOLO, M. M.; LIMA, V. S.; JUNIOR, M. R. M. Phenolic compounds: Structure, classification, and antioxidant power. In: **Bioactive compounds**. Woodhead Publishing, p. 33-50, 2019.

WANG, S.; ALSEEKH S, FERNIE AR, LUO J: The structure and function of major plant metabolite modifications. **Mol Plant**, 12:899-919, 2019.

YANG, E.I., *et al.* The role of gamma irradiation on the extraction of phenolic compounds in onion (*Allium cepa* L.). **Radiation Physics and Chemistry**, v. 81, n. 8, p. 1025-1028, 2012.

ZANÃO, C.F.P., *et al.* Efeito da irradiação gama nas características físico-químicas e sensoriais do arroz (*Oryza sativa* L.) e no desenvolvimento de *Sitophilus oryzae* L. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, 29(1): 46- 55, jan.-mar. 2009.

ZARBAKSH, S.; RASTEGAR, S.. Influence of postharvest gamma irradiation on the antioxidant system, microbial and shelf life quality of three cultivars of date fruits (*Phoenix dactylifera* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 247, p. 275-286, 2019.

ZHU, F., *et al.* Effect of γ -irradiation on phenolic compounds in rice grain. **Food Chemistry**, v. 120, n. 1, p. 74-77, 2010.