



INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Autarquia Associada à Universidade de São Paulo

Efeito da radiação gama em propriedades nutricionais e tecnológicas de sementes de chia (*Salvia hispanica* L.)

GABRIEL DE SOUZA CHIERENTIN

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Aplicações

Orientadora:
Profa. Dra. Nélida Lucia del Mastro

São Paulo
2021

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Autarquia Associada à Universidade de São Paulo

Efeito da radiação gama em propriedades nutricionais e tecnológicas de sementes de chia (*Salvia hispanica* L.)

Versão Corrigida

Versão Original disponível no IPEN

GABRIEL DE SOUZA CHIERENTIN

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Aplicações

**Orientadora:
Profa. Dra. Nélida Lucia del Mastro**

**São Paulo
2021**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho,
para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte

Como citar:

CHIERENTIN, G. d. S. "**Efeito da radiação gama em propriedades nutricionais e tecnológicas de sementes de chia (*Salvia hispanica L.*)**". 2021. 84 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP, São Paulo. Disponível em: (data de consulta no formato: dd/mm/aaaa)

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de geração automática da Biblioteca IPEN/USP,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Chierentin, Gabriel de Souza "Efeito da radiação gama em propriedades nutricionais e tecnológicas de sementes de chia (*Salvia hispanica L.*)" / Gabriel de Souza Chierentin; orientadora Nélida Lucia del Mastro. -- São Paulo, 2021.
84 p.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Nuclear (Aplicações) -- Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2021.

1. Chia (*Salvia hispanica L.*). 2. Mucilagem de chia. 3. Irradiação de alimentos. I. del Mastro, Nélida Lucia, orient. II. Título.

*À Deus,
pela oportunidade, saúde e proteção,*

*À minha família,
pelo apoio e incentivo incondicional,*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Prof^a. Dr^a. Nélida Lucia del Mastro, pelos ensinamentos, confiança, apoio, orientação e oportunidade.

Ao Prof. Dr. Leonardo Gondim de Andrade e Silva, confiança e oportunidade no estágio do Programa de Aperfeiçoamento de Ensino.

À Casa Forte Distribuidora de Produtos Alim. Ltda. Pelo fornecimento das amostras.

Aos Eng. Elizabeth S. R. Somessari, Carlos Gaia da Silveira e Heitor Duarte pela realização da irradiação das amostras.

Ao Prof. Me. Macelo Frezza, Ma. Ina Paola Rao, aos técnicos Samira Carla dos Reis e Fábio Brito de Azevedo pela disponibilização dos laboratórios do SENAI-SP - Horácio Augusto da Silveira e a realização da análise de composição centesimal.

À Prof^a. Dr^a. Maria José Aguirre Armelin, do Centro do Reator Nuclear de Pesquisa (CRPq), pela realização da análise de determinação do conteúdo de minerais por análise de ativação de nêutrons.

À Dr^a. Amanda Ramos, do Centro de Tecnologia das Radiações (CETER), pelo auxílio na análise de determinação de fibras totais.

Ao Dr. Lucas Freitas de Freitas, do Centro de Química e Meio Ambiente (CQMA), pelo auxílio na utilização do espectrofotômetro, para as análises de determinação de compostos fenólicos totais e potencial antioxidante.

À Bruna S. Teixeira, pelo auxílio em diversos momentos no laboratório.

À Prof^a. Dr^a. Cibele Nunes Peroni e João Ezequiel de Oliveira (Jhonny), do Centro de Biotecnologia (CEBIO), pela disponibilização e auxílio na utilização das centrífugas, para extração da mucilagem de chia.

À Prof^a. Dr^a. Mitiko Saiki e a Dr^a Vanessa B. Uehara, pelas sugestões na banca do seminário de área.

À Dr^a Monica Beatriz Mathor, Dr^a. Yasko Kodama, Dr^a Anna Lucia C. H. Villavicencio e Dr^a. Solange Kazumi Sakata, pela disponibilização de equipamentos e laboratórios.

À Dr^a Maria Cristina Marcucci Ribeiro e ao Dr. João Roberto Oliveira do Nascimento, pelas sugestões, instruções e correções na banca.

A todos os colegas do CETER, CRPq, CQMA, CEBIO e da Faculdade de Ciências Farmacêuticas – FCF-USP, pela convivência e troca de informações.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de mestrado,

Ao IPEN e a Universidade de São Paulo, pela oportunidade de desenvolver o trabalho, estrutura, auxílio institucional e excelente nível de ensino.

Aos meus pais, Sílvia e Dorival, pelo apoio incondicional, pela transmissão de conhecimentos e valores. Cheguei onde estou graças a vocês. Vocês sempre serão meu orgulho.

Ao meu amor, Ingrid, pelo carinho, incentivo e estar sempre ao meu lado, em todos os momentos, mesmo quando a caminhada parecia estar mais difícil.

Às minhas irmãs Vanessa e Caroline, e cunhados, Daniel e Jefferson, pelos conselhos, ajuda, fraternidade e incentivo, em todas as etapas.

Aos meus avós, pelas orações, confiança, suporte e principalmente, pelos ensinamentos de humildade.

Aos meus sobrinhos, pela paciência e silêncio, esperando o tio terminar o trabalho para podermos brincar juntos.

Aos meus amigos, pelas horas que passamos reunidos, conversando ou jogando, onde conseguíamos um refúgio de todas tensões do dia-a-dia.

MUITO OBRIGADO!

Matheus 13: 3-8

“... - Escutem! Certo homem saiu para semear. ⁴Quando estava espalhando as sementes, algumas caíram na beira do caminho, e os passarinhos comeram tudo. ⁵Outra parte das sementes caiu num lugar onde havia muitas pedras e pouca terra. As sementes brotaram logo porque a terra não era funda. ⁶Mas, quando o sol apareceu, queimou as plantas, e elas secaram porque não tinham raízes. ⁷Outras sementes caíram no meio de espinhos, que cresceram e sufocaram as plantas. ⁸Mas as sementes que caíram em terra boa produziram na base de cem, de sessenta e de trinta grãos por um...”

EFEITO DA RADIAÇÃO GAMA EM PROPRIEDADES NUTRICIONAIS E TECNOLÓGICAS DE SEMENTES DE CHIA (*Salvia hispanica* L.)

GABRIEL DE SOUZA CHIERENTIN

RESUMO

A chia (*Salvia hispanica* L.) é uma planta nativa da região do sul do México e do norte da Guatemala, onde foi cultivada durante milhares de anos pelas civilizações Maias e Astecas. No Brasil, a chia é produzida principalmente no oeste paranaense e no noroeste do Rio Grande do Sul. As sementes de chia possuem propriedades nutricionais notáveis e o seu consumo fornece benefícios a saúde humana. Quando imersa em água, a semente de chia exsuda um gel, chamado de mucilagem de chia, composto principalmente por fibras solúveis e corresponde a cerca de 6% de sementes de chia. A irradiação de alimentos garante a segurança microbiológica de alimentos, principalmente para longos processos de transporte, e sua aplicação pode ser de interesse para sementes de chia. O presente trabalho teve como objetivo estudar o efeito da radiação gama em propriedades relevantes de sementes de chia irradiadas sob diferentes doses. As sementes foram submetidas a irradiação em fonte de ^{60}Co Gammacell 220, com doses de 0, 5, 10 e 20 kGy. A irradiação não afetou teores de umidade, proteínas, cinzas (foi determinado conteúdo de minerais), atividade de água e fibras totais. Houve diminuição no teor de gorduras totais e valor calórico total nas doses de 5 e 10 kGy, e diminuição no teor de carboidratos na dose de 5 kGy. Houve aumento no conteúdo de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante pelo método DPPH na dose de 10 kGy. A mucilagem de chia apresentou comportamento pseudoplástico, onde o melhor modelo de ajuste reológico para a dose de 0 kGy foi o Lei da Potência e para as demais doses também obteve bom ajuste para Herschel-Bulkley. Não houve alteração na textura e em propriedades emulsificantes da mucilagem de chia. Portanto, a irradiação pode ser utilizada para tratamento de sementes de chia, sem causar prejuízos em relação aos atributos avaliados no presente trabalho.

Palavras chave: Chia (*Salvia hispanica* L.); Mucilagem de chia; Irradiação de alimentos;

GAMMA RADIATION EFFECT ON NUTRITIONAL AND TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF CHIA (*Salvia hispanica* L.) SEEDS

GABRIEL DE SOUZA CHIERENTIN

ABSTRACT

Chia (*Salvia hispanica* L.) is a plant native of southern Mexico and northern Guatemala, where was cultivated for thousands of years by Mayan and Aztec civilizations. In Brazil, chia is produced mainly in western Paraná and northwestern Rio Grande do Sul. Chia seeds have notable nutritional properties and their consumption provides benefits to human health. When immersed in water, the chia seed exudes a gel, called chia mucilage, composed mainly of soluble fibers and corresponding to about 6% of chia seeds. Food irradiation ensures the microbiological safety of food, especially for long transport processes, and its application may be of interest for chia seeds. The present work aimed to study the effect of gamma radiation on relevant properties of chia seeds irradiated under different doses. The seeds were submitted to irradiation in a source of ^{60}Co Gammacell 220, with doses of 0, 5, 10 and 20 kGy. Irradiation did not affect moisture, protein, ash content (mineral content was determined), water activity and total fiber. A decrease was detected in total fat and total caloric value in doses of 5 and 10 kGy, and carbohydrate content in dose of 5 kGy. An increase in the content of total phenolic compounds and antioxidant activity by the DPPH method was detected at dose of 10 kGy. The chia mucilage showed a pseudoplastic behavior, where the best rheological adjustment model for the 0 kGy dose was Power Law and for the other doses it also obtained a good adjustment for Herschel-Bulkley. No change in texture and emulsifying properties of chia mucilage was detected. Therefore, irradiation could be used on treatment of chia seeds, without causing damage in relation to the attributes evaluated in the present work.

Keywords: Chia (*Salvia hispanica* L.); Chia mucilage; Food irradiation;

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Classificação botânica da chia <i>Salvia hispanica</i> L.....	15
TABELA 2– Principais compostos fenólicos presentes nas sementes de chia.	25
TABELA 3 – Ingestão Diária Recomendada de minerais.....	27
TABELA 4 – Doses de radiação recomendadas para diversos objetivos.....	43
TABELA 5 – Modelos reológicos utilizados nos ajustes das curvas de escoamento de mucilagem extraída de sementes de chia irradiadas.	51
TABELA 6 – Composição centesimal de sementes de chia irradiadas sob diferentes doses	54
TABELA 7 – Conteúdo de minerais determinados por análise por ativação neutrônica instrumental	57
TABELA 8 – Ajustes de modelo reológico.....	66
TABELA 9 – Propriedades tecnológicas de mucilagem extraída de sementes de chia irradiadas	67
TABELA 10 – Propriedades da emulsão de mucilagem extraída de sementes de chia irradiadas	68

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – <i>Salvia hispanica</i> L. – A: arbusto; B: bráctea, C: flor.	16
FIGURA 2 – Sementes de chia.	16
FIGURA 3 – Uso da chia na medicina – A: Finalidade do tratamento; B: Partes da planta utilizada.	17
FIGURA 4 – Atole com chia consumido para indução de parto	18
FIGURA 5 – Uso culinário da chia.....	19
FIGURA 6 – Artista asteca envernizando vaso com óleo de chia.	20
FIGURA 7 – Histórico de cultivo de chia em todo o planeta.....	21
FIGURA 8 – Proteínas totais de diferentes sementes e grãos.....	24
FIGURA 9 – Exsudação de mucilagem de chia em decorrência do tempo.....	30
FIGURA 10 – Ilustração esquemática de células epidérmicas do tegumento de sementes de <i>Arabidopsis thaliana</i>	31
FIGURA 11 – Modelo de placas paralelas e equações matemáticas de parâmetros reológicos.....	34
FIGURA 12 – Classificação dos fluídos.....	35
FIGURA 13 – Curva de escoamento, classificação dos fluídos e equação de modelos reológicos.	37
FIGURA 14 – Espectro eletromagnético.	38
FIGURA 15 – Interações da radiação com a matéria.....	39
FIGURA 16 – Radura – símbolo internacional para identificação de alimentos irradiados.....	41
FIGURA 17 – Irradiadores: A – Fonte de ⁶⁰ Co, Gammacell 220, Radiation Dynamics; B – Acelerador de elétrons Dynamitron, Radiation Dynamics.	42
FIGURA 18 – Efeito direto e indireto da radiação ionizante.	43
FIGURA 19 – Fluxograma de análises e processos.....	45
FIGURA 20 – Esquema da formação e extração de mucilagem de chia	50
FIGURA 21 – Viscosímetro Brookfield, modelo DV-III, utilizado para o estudo reológico da mucilagem de chia	51
FIGURA 22 – Atividade de água de sementes de chia irradiadas.....	56
FIGURA 23 – Conteúdo de fibras totais em sementes de chia irradiadas.....	59
FIGURA 24 – Curva de calibração com ácido gálico	60

FIGURA 25 – Compostos fenólicos totais de extratos de sementes de chia irradiadas.....	60
FIGURA 26 – Curva de calibração com Trolox.	62
FIGURA 27 – Atividade antioxidante de extratos de sementes de chia irradiadas	63
FIGURA 28 – Viscosidade aparente de mucilagem extraída de sementes de chia irradiadas.....	64
FIGURA 29 – Tensão de cisalhamento de mucilagem extraída de sementes de chia irradiadas	65

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVO	14
2.1 Objetivo geral	14
2.2 Objetivos específicos.....	14
3 REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1 Salvia hispanica L.....	15
3.2 Contexto histórico-cultural do cultivo de chia	17
3.3 Composição química das sementes de chia	22
3.4 Benefícios do consumo de sementes de chia	27
3.5 Mucilagem de chia.....	29
3.6 Utilização da mucilagem de chia	32
3.7 Reologia de alimentos	33
3.8 Radiação ionizante: radiação gama	37
3.9 Irradiação de alimentos: Aspectos históricos e legislação.....	39
3.10 Processo de irradiação de alimentos.....	42
4 METODOLOGIA	45
4.1 Material.....	45
4.2 Irradiação	46
4.3 Análise de composição centesimal.....	46
4.4 Determinação do conteúdo de minerais por análise de ativação neutrônica	47
4.5 Determinação da atividade de água.....	47
4.6 Extração da gordura.....	48
4.7 Determinação de fibra bruta	48

4.8 Obtenção dos extratos	49
4.9 Quantificação de compostos fenólicos	49
4.10 Determinação do potencial antioxidante pela redução de radicais DPPH	49
4.11 Extração da mucilagem	50
4.12 Reologia	50
4.13 Análise de textura.....	52
4.14 Determinação da capacidade emulsificante	52
4.15 Determinação da estabilidade da emulsão.....	52
4.16 Análise estatística.....	53
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
5.1 Composição Centesimal e Atividade de água	54
5.2 Conteúdo de minerais por análise de ativação neutrônica	56
5.3 Fibras totais.....	58
5.4 Compostos fenólicos totais.....	59
5.5 Potencial antioxidante pela redução de radicais DPPH.....	61
5.6 Reologia da mucilagem de chia	64
5.7 Análise de Textura da mucilagem de chia.....	67
5.8 Capacidade emulsificante e estabilidade da emulsão da mucilagem de chia	68
6 CONCLUSÃO	70
REFERÊNCIAS.....	71

1 INTRODUÇÃO

Há nos últimos anos um maior interesse por temas como qualidade de vida e bem-estar da população e assim, grande aumento na procura por alimentos saudáveis. As sementes de chia (*Salvia hispanica* L.) integram esse importante grupo de alimentos, junto com outras sementes e nozes com características nutricionais notáveis. As sementes de chia são consumidas mundialmente, e além de seu excelente teor nutricional também possuem propriedades tecnológicas de interesse da indústria de alimentos. Consumidas in natura ou adicionadas em preparações, integram produtos alimentícios de diversas formas como: as sementes in natura, a mucilagem, o óleo, como estabilizantes, e conferindo propriedades tecnológicas como firmeza e consistência. As sementes de chia ainda podem ser inseridas em dietas específicas, saudáveis, vegetarianas, veganas e sem glúten.

No comércio internacional é alta a preocupação com a qualidade dos alimentos e a presença de contaminações e infestações. A irradiação de alimentos é uma importante ferramenta neste sentido, pois, garante a segurança sanitária e não oferece riscos à saúde. A aplicação de doses corretas e seguindo boas práticas de fabricação e manipulação, a irradiação de alimentos possui vantagem em relação a outros métodos físicos e químicos, devido a praticidade e segurança do processo.

Este trabalho tem por objetivo o estudo da ação da radiação em sementes de chia, tema pouco estudado até o presente. Este processo pode auxiliar a garantir a segurança do produto final ao consumidor. Serão abordados os efeitos da radiação em atributos nutricionais e tecnológicos.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Avaliar o efeito da radiação gama em propriedades relevantes de sementes de chia irradiadas sob diferentes doses.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar e analisar o efeito da radiação gama na composição centesimal e na atividade de água de sementes de chia.
- Determinar o conteúdo de minerais das sementes de chia.
- Analisar o efeito da radiação no teor de compostos fenólicos e atividade antioxidante de extratos de sementes de chia.
- Extrair e isolar a mucilagem de chia.
- Analisar o efeito da radiação nas propriedades reológicas e tecnológicas da mucilagem extraída da chia.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 *Salvia hispanica* L.

Salvia hispanica L., popularmente conhecida como chia, é uma planta herbácea pertencente à família Lamiaceae (TAB 1). As plantas da família Lamiaceae abrangem cerca de 200 gêneros e, aproximadamente 3.200 espécies, originárias das mais diversas regiões do planeta. Dentre algumas espécies mais conhecidas nacionalmente, se destacam estão: alfavacão, alfazema, cordão-do-frade, cidreira, hortelã, poejo, manjericão, orégano, alecrim e sálvia (VUSKAN, *et al.*, 2007; LIMA & CARDOSO, 2007). A planta de chia (FIG 1) pode crescer até cinco metros de altura, com folhas que podem chegar até dez centímetros de comprimento. A coloração das flores é azul-violeta e também podem ser brancas e cada pé pode render até 250 g de sementes, na melhor época de colheita que é entre outubro e novembro (TOLENTINO *et al.*, 2014; COELHO & SALLAS-MELLADO, 2014).

TABELA 1 – Classificação botânica da chia *Salvia hispanica* L.

Reino	Plantae
Sub-reino	Tracheobionta
Divisão	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Subclasse	Asteridae
Ordem	Lamiales
Família	Lamiaceae
Subfamília	Nepetoideae
Tribo	Mentheae
Gênero	<i>Salvia</i>
Espécie	<i>Salvia hispanica</i> L.
Nome binomial	<i>Salvia hispanica</i> L.

(Adaptado de: Jimenez, 2010)

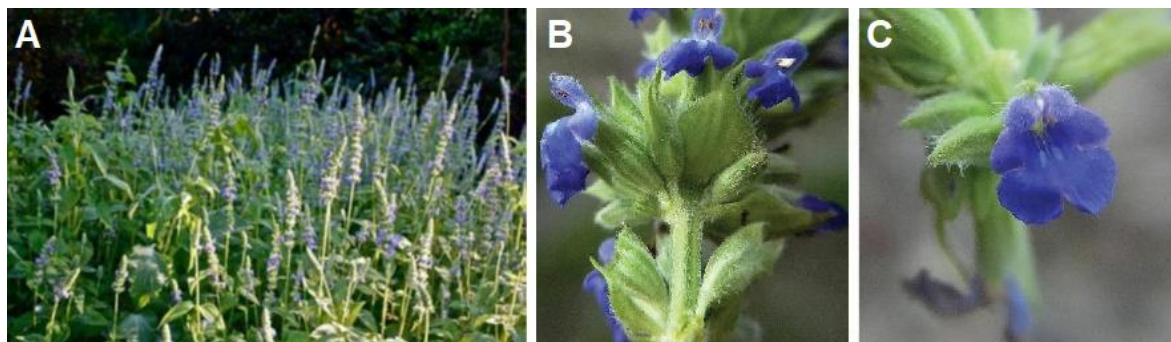


FIGURA 1 – *Salvia hispanica* L. – A: arbusto; B: bráctea, C: flor.

(Fonte A: MELO-RUIZ *et al.*, 2016; B & C: MASLO & ŠARIĆ, 2020)

Nomeada por Carolus Linnaeus (1707–1778), depois de encontrar a planta que era nativa da região no qual estava explorando, a chia foi confundida com outra planta, nativa da Espanha. As sementes provindas da planta, são pequenas e possuem colorações que variam do marrom ao preto e até o bege, que apresentam ausência de pigmentação, como mostrado na FIG 2 (VALDIVIA-LOPEZ & TECANTE, 2015; MUÑOZ *et al.*, 2012).

Originária da região do México, a chia tinha grande importância no cotidiano da população Asteca. A chia era uma mercadoria de grande importância, pois a planta, as sementes e o óleo, eram utilizados na alimentação, nos artesanatos, em cultos religiosos e até como medicamento (CAHILL, 2003).



FIGURA 2 – Sementes de chia.

(Fonte: PAPER, 2012)

3.2 Contexto histórico-cultural do cultivo de chia

O estudo de Cahill (2003), leva em conta registros da utilização de chia de dois períodos: pré e pós o ano de 1600 DC (pré e pós século XVI). A chia era muito utilizada como medicamento para as mais diversas finalidades e enfermidades, principalmente para tratamento de distúrbios no trato gastrointestinal, na pele, em casos de febre e tratamentos de doenças em geral nos dois períodos, além do tratamento para distúrbios oftalmológicos no período pós 1600 (FIG 3).

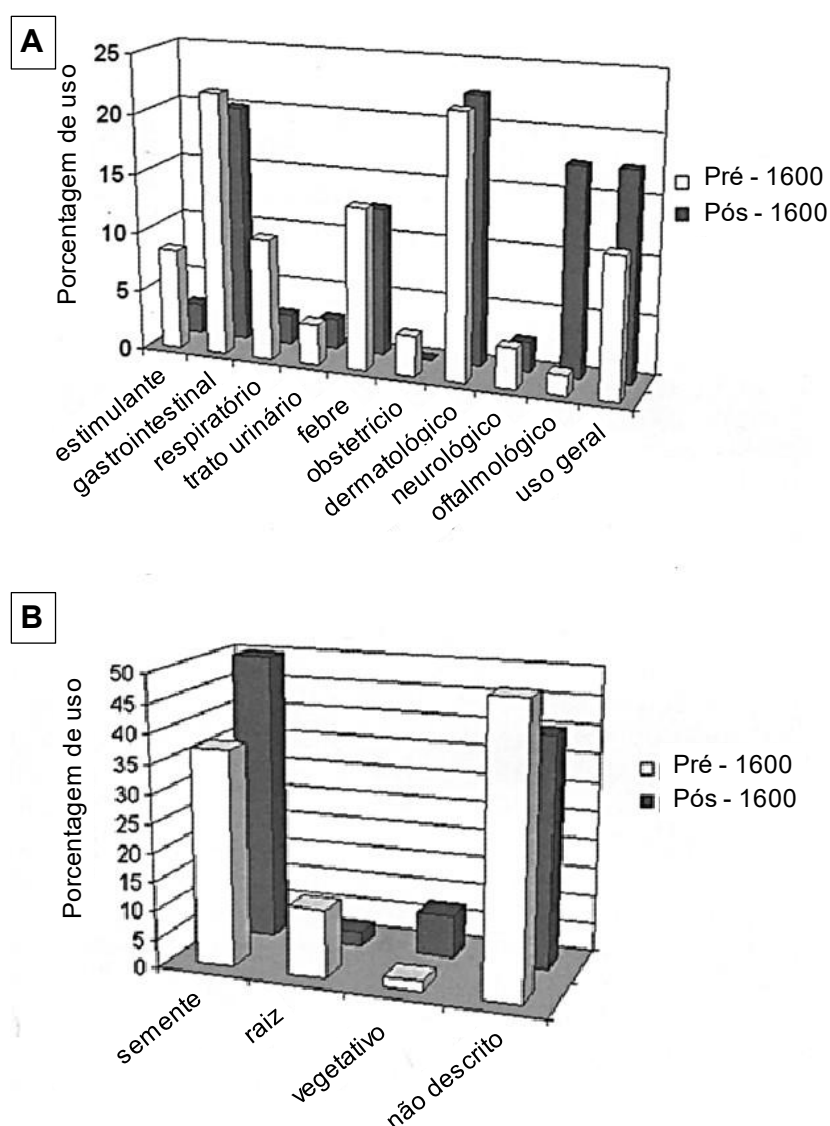


FIGURA 3 – Uso da chia na medicina – A: Finalidade do tratamento; B: Partes da planta utilizada.

(Adaptado de: CAHILL, 2003)

É possível observar que grande parte dos estudos não apontaram qual parte da planta era utilizada. Grande parte relataram o uso das sementes de chia, enquanto que poucos relataram o uso da raiz e outras partes da planta em geral.

Infusões que continham sementes de chia eram ingeridas com o intuito de superar a resistência da ingestão de medicamentos. As sementes de chia também eram incluídas em um atole – bebida quente tradicional da região do México na era pré-colombiana – juntamente com milho tostado e um rabo de gambá, recomendado para mulheres induzirem o parto, como na representação da FIG 4. Estas atribuições podem explicar a investigação científica acerca das sementes de chia que foram e continuam sendo realizadas (CAHILL, 2003).

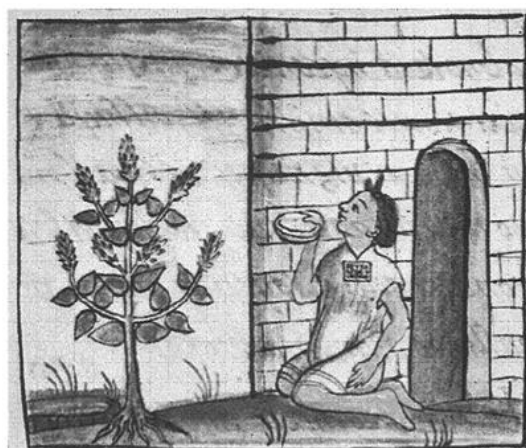


FIGURA 4 – Atole com chia consumido para indução de parto

(Fonte: CAHILL, 2003)

Na culinária a chia era aproveitada integralmente, como sementes inteiras, farinha das sementes, mucilagem e o óleo (FIG 5). Cahill (2003) apresenta o registro do uso culinário a presença principalmente de farinha e bebidas com a farinha no período pré 1600, enquanto no período pós 1600 os maiores registros foram de bebidas e o uso geral da planta para consumo.

Assim como o processamento de milho utilizado na época, as sementes de chia eram assadas e moídas em uma farinha chamada *chianpinolli*, e em algumas ocasiões eram processados simultaneamente. Os *chianpinolli*

eram incorporados a tortilhas, tamales e várias bebidas astecas conhecidas como *chianatoles*. Também era comum o consumo de uma bebida refrescante feita com sementes inteiras de chia conhecida como "água de chia" ou "chia fresca". As bebidas para consumo possuíam adição de limão, suco de frutas e açúcar, além de uma baixa proporção de sementes para a água, resultando em uma consistência menos gelatinosa (CAHILL, 2003).

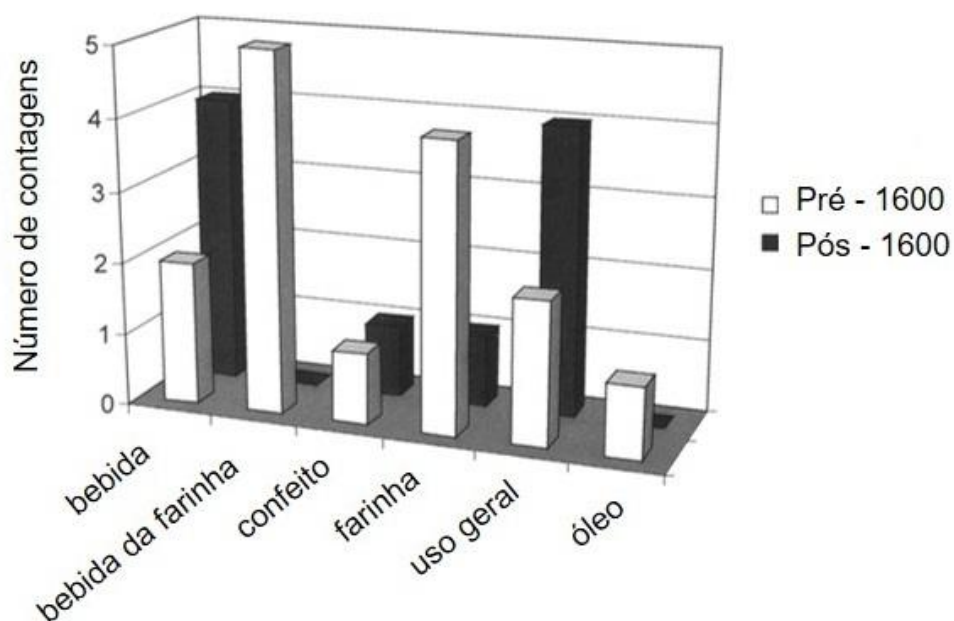


FIGURA 5 – Uso culinário da chia.

(Adaptado de: CAHILL, 2003)

O óleo de chia era utilizado por trabalhadores que exerciam a profissão em meios aquáticos, no qual esfregavam o óleo em suas pernas e pés. Além de auxiliar na resistência do corpo contra a água, eles acreditavam que adquiriam força e que não iriam ser feridos. Devido a grande quantidade de energia gasta em seus ofícios, a rotina se fazia extremamente exaustiva, então os trabalhadores procuravam algo para os aliviarem, conferindo-os sustento, agilidade e leveza e diminuindo de algum modo a fadiga. A chia também era frequentemente utilizada em rituais religiosos, como oferenda aos deuses. O óleo de chia também possuía atributos como: envernizador de vasos (FIG 6), pinturas, aplicações em cosméticos e decorações com as sementes (CAHILL, 2003).



FIGURA 6 – Artista asteca envernizando vaso com óleo de chia.

(Fonte: CAHILL, 2003)

Após a colonização do México pelos espanhóis, a produção de chia no México foi proibida devido à competição que exercia para espécies de plantas e animais originários da Espanha; mas principalmente devido ao fato de que a chia era amplamente utilizada em rituais religiosos pela população asteca (SOSA *et al.*, 2016).

Com os mais de 500 anos de proibição de produção, os cultivares foram quase extintos (FIG 7), com isso, todo o conhecimento associado a utilização como alimento, remédio e até seu manejo agrônômico e cultivares desenvolvidos foram esquecidos e muitos até perdidos. Entretanto, o uso de óleo de chia não foi completamente esquecido. Os colonizadores espanhóis permitiram o uso do óleo de chia para fabricação de artesanato, para depois vendê-los, como uma maneira de pagar os impostos. Houve também a garantia do privilégio pela coroa espanhola em troca dos habitantes não oferecerem resistência a evangelização. Um tratamento similar foi oferecido por colonizadores, em troca do suporte para a construção do Palácio de Cortés, os nativos puderam continuar produzindo chia, além das plantações clandestinas em diversas regiões do México (SOSA *et al.*, 2016; GUTIÉRREZ *et al.*, 2014).

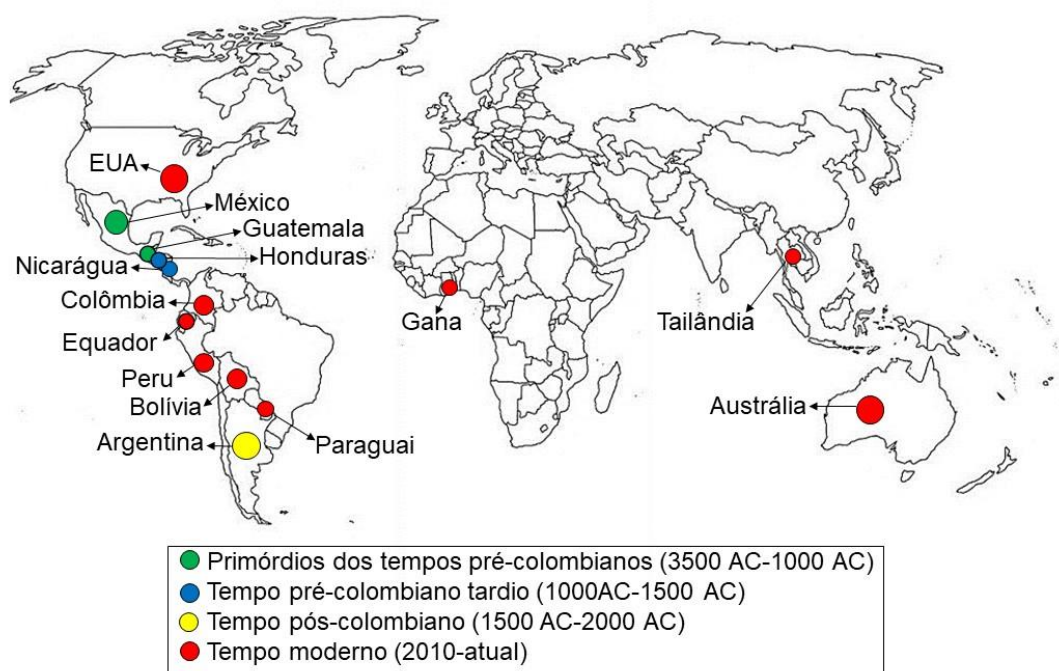


FIGURA 7 – Histórico de cultivo de chia em todo o planeta.

(Adaptado de: SOSA *et al.*, 2016)

De acordo com Coelho & Salas-Mellado (2014), juntamente com a chia, o milho, o feijão e o amaranto eram os alimentos mais importantes de mais de 11 milhões de pessoas quando Colombo chegou à América. Após a independência do México, em 1810, não houve mais proibição do cultivo da chia (que se resumia então em poucos hectares) e o cultivo e colheita de sementes de chia passou a ser cada vez mais disseminado (SOSA *et al.*, 2016).

Na década de 1990, um grupo de pesquisadores dos Estados Unidos da América e da Argentina visitaram Jalisco, no México, afim de obterem conhecimento sobre conceitos agronômicos e manuseio de chia, que posteriormente resultariam na condução de um grande projeto de pesquisa chamado "Western Argentina Regional Project", no qual o objetivo era estudar o perfil nutricional, adaptação e melhoramento, manuseio agronômico e comercialização da chia em locais com diferentes regiões agrícolas da Argentina e outros países da América Latina como Peru, Colômbia, Bolívia e Equador. Os resultados de mais de vinte anos de pesquisas foram fundamentais na promoção do plantio e o consumo de chia pelo mundo (SOSA *et al.*, 2016).

O cultivo comercial da chia acontece na Austrália, Bolívia, Colômbia, Guatemala, México, Peru, Argentina e Paraguai devido ao antigo histórico de cultura e a informação sobre a manejo agrônômico através de parentes e amigos que nas épocas passadas migraram colonizando estes países (AYERZA & COATES, 2006; BUSILACCHI *et al.*, 2013).

A chia no Brasil é cultivada em diferentes regiões onde as condições de precipitação, temperatura e altitude se enquadrarem às exigências de cultura; entretanto, não é tolerante a geada, o que a torna a época de semeadura um fator limitante para regiões brasileiras que apresentam esse tipo de condição climática.

O oeste paranaense e o noroeste do Rio Grande do Sul mostram ser uma alternativa promissora para o cultivo da chia. Assim, seria promovida a diversificação de culturas, permitindo o escalonamento da produção substituindo a soja após o milho, além de ocupar a lavoura de janeiro a junho, cumprindo o papel conservacionista de manter o solo sempre coberto. Outro atrativo aos produtores seria o valor de comercialização das sementes que giraria em torno de 15 a 20 reais por kg de semente. Entretanto, a falta de informações sobre o manejo cultural e a dificuldade de sua comercialização devido a mercado comprador não estabelecido, torna o cultivo pouco explorado no Brasil. Apesar das limitações, aumentam os registros de áreas de cultivo de chia. O destino das sementes produzidas geralmente é mercado e lojas de produtos naturais locais (WOJAHN, 2016; MIGLIAVACCA *et al.*, 2014).

Depois de ser uma plantaçaõ quase esquecida, devido suas propriedades nutricionais e tecnológicas, a chia tornou-se alvo de inúmeros estudos em diversas áreas da ciência.

3.3 Composição química das sementes de chia

As sementes de chia possuem propriedades nutricionais notáveis e o seu consumo fornece benefícios a saúde humana. Possuem cerca de 15 – 25 % de proteínas, 21 – 46 % carboidratos, sendo 18 – 45 % fibras, 30 – 33 % lipídeos, 4 – 5 % cinzas, um alto valor energético de cerca de 576,5 kcal/ 100 g, além de antioxidantes, vitaminas e importantes minerais (MARINELI *et al.*, 2014; MELO-

RUÍZ *et al.*, 2016; MIGLIAVACCA *et al.*, 2014). Os diferentes valores de encontrados nos estudos devem-se ao fato de que a composição química e nutricional varia de acordo com a localização geográfica, condições climáticas, cultivares, ambiente de cultivo e o método utilizado (HRNČIČ *et al.*, 2020).

Dois ácidos graxos poli-insaturados são considerados essenciais para os seres humanos: o ácido linolênico (ω -3) e o ácido linoleico (ω -6). Data de 1946 a primeira prova científica do alto teor da chia de ácidos graxos poli-insaturados - PUFAs (*Poly Unsaturated Fatty Acids*) - da série ω -3 (LLOYD *et al.*, 1946).

O óleo de chia é rico em ácidos graxos poli-insaturados, possuindo cerca de 58 – 65 % de ácido α -linolênico (ALA (C18:3)) da série ω -3, e 12 % de ácido linoleico (LNA (C18:2)) da série ω -6 (SOSA *et al.*, 2020), caracterizando-a como uma das fontes botânicas mais ricas em ácidos α -linolênico e linoleico (AYERZA & COATES, 2000; ENES *et al.*, 2020).

Os benefícios a saúde relacionados ao consumo de ácidos graxos ω -3 e ω -6 são diversos, como diminuição dos níveis de triglicérides e colesterol, atividade anti-inflamatória, prevenção de doenças hepáticas e cardiovasculares, auxílio no controle glicêmico na diabetes, atividade quimiopreventiva, prevenção de artrite e de doenças autoimunes (HRNČIČ *et al.*, 2020). Os seres humanos não possuem recursos bioquímicos para sintetizar ácidos graxos ω -3 e ω -6, sendo possível apenas inserir duplas ligações, porém, somente até o carbono que caracteriza um ω -9. Todavia, é possível dessaturar e alongar o ácido α -linolênico ω -3 (C18:3) para EPA (ácido eicosapentaenoico (C20:5)) e DHA (ácido docosahexaenoico (C22:6)) ambos da série ω -3; e ácido linoleico ω -6 (C18:2) para ácido araquidônico (AA (C20:4)) da série ω -6 (MAHAN *et al.*, 2012).

Indícios de que a ingestão de 2 g de PUFAs ω 3 por dia poderia prevenir doenças coronarianas (DYERBERG *et al.*, 1975; BANG *et al.*, 1980), levaram autoridades responsáveis de diversos países passaram a recomendar a ingestão de 900 a 1000 mg de PUFAs ω -3 por dia (LICHTENSTEIN *et al.*, 2006).

A recomendação de ingestão da Organização Mundial da Saúde – OMS, para proporção ω -6/ ω -3 é de 5:1 até 10:1, afim de obter melhor taxa de conversão dos ácidos graxos e não causar nenhum malefício a saúde devido a

altos índices de ingestão de ácidos graxos da série ω -6 (WHO, 1995). A proporção de ω -6/ ω -3 nas sementes de chia é de aproximadamente 1:3 (SOSA *et al.*, 2020), sendo assim uma fonte segura e com excelente proporção ω -6/ ω -3.

Embora não seja explorada comercialmente como fonte proteica, o teor de proteínas das sementes de chia é maior do que de cereais como milho, arroz, quinoa e trigo (FIG 8), além de possuir alto valor biológico. O seu perfil de aminoácidos não possui fator limitante para dieta de adultos, porém na dieta de uma criança na época pré-escolar, treonina, leucina e lisina são aminoácidos limitantes. Devido a tendência dos consumidores a escolha de alimentos que possuam relação com saúde e bem-estar, a fração proteica da farinha de chia pode ser explorada como ingrediente na indústria alimentícia, além do valor nutricional, a ausência do glúten enaltece sua utilização para celíacos (COELHO & SALLAS-MELLADO, 2014; HRNČIČ *et al.*, 2020).

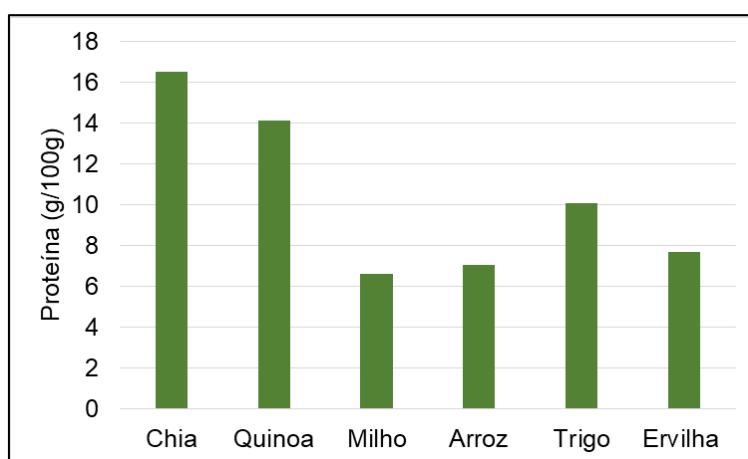


FIGURA 8 – Proteínas totais de diferentes sementes e grãos

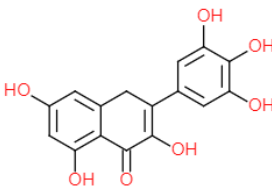
(Fonte: Tabela Brasileira de Composição de Alimentos - TBCA)

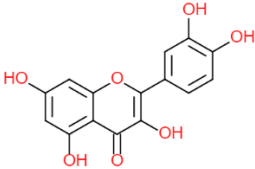
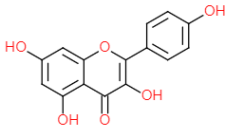
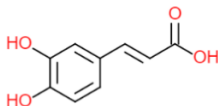
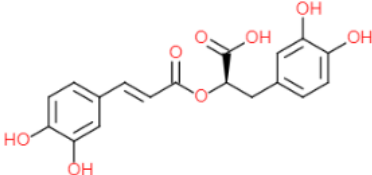
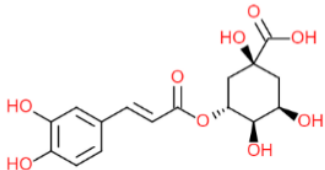
As sementes de chia são uma importante fonte de fibras dietéticas, e são capazes de aumentar o seu volume no organismo durante a digestão, aumentando em até 14 a 16 vezes comparável ao farelo de trigo e sementes de linhaça. Possuem também de 18 a 45 g de fibra a cada 100 g de amostra, sendo aproximadamente 85 – 93 % de fibras insolúveis, nas quais cumprem um importante papel para o organismo humano aumentando a capacidade de

retenção de água do alimento na digestão, aumentando o volume fecal e o trânsito intestinal. Cumpre importante papel na indústria alimentícia, pois fornecem maciez e aumentam a vida de prateleira de produtos de panificação, aumentam firmeza e crocância a produtos acabados e, devido a sua capacidade de retenção de matérias graxas e de água, podem ser adicionadas para estabilização de recheios em função da sua alta capacidade de retenção de água, e retenção de aromas (BOMFIM & KANASHIRO, 2016; HRNČIČ *et al.*, 2020; MAHAN *et al.*, 2012; FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2014).

As sementes de chia são uma importante fonte de antioxidantes. Além dos ácidos graxos ω -3 e ω -6, as sementes de chia possuem um grande aporte de compostos fenólicos. Quercetina, kaempferol, ácido cafeico, ácido rosmanírico, ácido clorogênico e mirecitina, são os principais compostos fenólicos encontrados nas sementes de chia (TAB 2) e outros compostos como daidzina, glicitina, genistina e os ácidos salicílico, protocatecuico, gentísico e hidroxibenzóico também são reportados. Os compostos fenólicos das sementes de chia apresentam potencial antioxidante pela habilidade de neutralizar radicais livres, íons e doar hidrogênios, auxiliam na prevenção de doenças neurológicas, hipertensão e câncer. Também exercem papel para atenuar a auto-oxidação lipídica e as sementes podem ser utilizadas como ingredientes funcionais em produtos alimentícios (MARINELI *et al.*, 2014; COELHO & SALLAS-MELLADO, 2014; MELO-RUIZ *et al.*, 2016; de FALCO *et al.*, 2017; HRNČIČ *et al.*, 2020).

TABELA 2– Principais compostos fenólicos presentes nas sementes de chia.

Composto	Estrutura Química	Atividade Biológica	Referência
Miricetina		Antioxidante	[A] [B] [C]

Quercetina		Antioxidante Anticarcinogênico Anti-hipertensivo	[A] [B] [C]
Kaempferol		Antioxidante	[A] [B]
Ácido Cafeico		Antioxidante Anticarcinogênico Antihipertensivo	[B] [C] [D]
Ácido Rosmarínico		Antioxidante	[B] [C] [D]
Ácido Clorogênico		Antioxidante Anticarcinogênico Antihipertensivo	[C]

Adaptado de: HRNČIČ *et al.*, 2020: [A] ALI *et al.* (2012); [B] de FALCO *et al.* (2017); [C] RAHMAN *et al.* (2017); [D] MARTÍNEZ-CRUZ & PAREDES-LÓPEZ (2014).

O conteúdo de cinzas de um alimento é uma medida da quantidade total de minerais presentes e o conteúdo de minerais é a medida de componentes inorgânicos específicos tais como cálcio, sódio, potássio e cloro. A determinação de conteúdo de cinzas e minerais é importante do ponto de vista de rotulação nutricional, qualidade, estabilidade microbiológica, nutrição e processamento (ZAMBIAZI, 2007).

Minerais importantes estão presentes em quantidades significativas nas sementes de chia. Na TAB 3 estão relacionados valores de ingestão diária recomendada (IDR) de minerais importantes.

TABELA 3 – Ingestão Diária Recomendada de minerais

Mineral	Unidade	Recomendação diária	
		Homens (19 – 70 anos)	Mulheres (19 – 70 anos)
Potássio	mg	3400	2600
Cálcio	mg	1000 – 1200	1000 – 1200
Fósforo	mg	700	700
Magnésio	mg	400 – 420	310 – 320
Ferro	mg	8	8 – 18
Zinco	mg	11	8
Flúor	mg	4	3
Manganês	mg	2,3	1,8
Cobre	µg	900	900
Iodo	µg	150	150
Molibdênio	µg	45	45
Cromo	µg	30 – 35	20 – 25
Selênio	µg	55	55

(Fontes: NIH, 2021; BRASIL, 2005; PADOVANI *et al.*, 2006).

3.4 Benefícios do consumo de sementes de chia

Existem diversos registros na literatura sobre benefícios do consumo de sementes de chia. O consumo de sementes e o óleo de chia pode ser uma alternativa importante para melhoria de saúde do consumidor, além de ser um importante alimento funcional para a dieta humana (MARINELI *et al.*, 2014).

Enes *et al.* (2020) realizaram um estudo afim de investigar os efeitos da farinha e óleo de chia no metabolismo de glicose no fígado de ratos alimentados com dieta com altos valores de frutose e lipídeos e a influência *in vitro* do hidrolisado do extrato dos compostos fenólicos de chia no metabolismo de glicose de células de hepatoma humano. Como resultado, a farinha e o óleo de chia diminuíram a adiposidade e podem modular o metabolismo da glicose

dos animais, no entanto, apenas o óleo de chia melhorou a tolerância à glicose e à insulina e restaurou o sistema de combustível energético nos hepatócitos, melhorando a glicólise. Além disso, o extrato fenólico hidrolisado foi associado à modulação da expressão gênica de enzimas gliconeogênicas e glicolíticas em células de hepatoma humano resistentes à insulina.

Jin *et al.* (2012) demonstrou que o consumo de 25 g de semente de chia por dia durante 7 semanas leva à elevação dos níveis plasmáticos de ácido α -linolênico (ALA (C18:3)) em 138% e ácido eicosapentaenoico (EPA (C20:5)) em 30% em mulheres pós-menopausa.

Souza *et al.* (2020) investigaram o efeito da suplementação de óleo de chia na tolerância a glicose, marcadores de inflamação e expressão de genes e proteínas envolvidas no processo de escurecimento do tecido adiposo branco. Para tanto, dividiram 4 grupos de animais com diferentes dietas, sendo: dieta controle, dieta hiperlipídica, dieta controle com suplementação de óleo de chia após atingirem obesidade e animais alimentados desde o desmame com a dieta hiperlipídica com suplementação de óleo de chia. Os resultados mostraram que os animais suplementados desde o desmame apresentaram metabolismo de glicose melhorado e foi promovido o escurecimento do tecido adiposo (que resulta em aumento da termogênese, melhorando o metabolismo da glicose e resistência à insulina relacionada a obesidade).

As sementes de chia além de manter bom controle da glicemia, também se mostraram efetivas na promoção de perda de peso e em melhorias nos fatores de risco relacionados à obesidade, em um estudo realizado por Vuskan *et al.* (2017). Setenta e sete indivíduos obesos ou com sobrepeso, separados em dois grupos, seguiram dietas restritas em calorias mais com suplementação de 30 g/1000 kcal/dia de sementes de chia e outro grupo com 36 g/1000 kcal/dia de farelo de aveia (controle). Os indivíduos suplementados com chia obtiveram maior perda de peso, maior redução de circunferência de cintura, maior redução do nível de proteína C-reativa e aumento da adiponectina (hormônio secretado pelo adipócito responsável pela sensibilização da ação insulínica e regulação do metabolismo energético corporal (PETTO *et al.*, 2015)).

A indústria alimentícia busca substituir ingredientes menos nutritivos por outros de maior valor nutricional, sem comprometer o sabor do produto final. Dentro desta lógica, a chia é um alimento muito interessante, pois além de

melhorar o teor nutritivo, apresenta características tecnológicas importantes como capacidade de reter água e óleo, sendo opção para emulsões e produtos de panificação, alimentos assados, barras de cereais, iogurtes e molhos (COELHO & SALLAS-MELLADO, 2014).

3.5 Mucilagem de chia

Durante o desenvolvimento de diversos tipos de sementes pode ocorrer o espessamento da parede celular das células epidérmicas, acumulando polissacarídeos no apoplasto. Estes polissacarídeos são altamente hidrofílicos de modo que quando há hidratação da semente, ocorre a expansão e fragmentação da parede celular distal externa das células epidérmicas ocorrendo a encapsulação da semente por uma mucilagem viscosa e pegajosa (NORTH *et al.*, 2014). Esse fato ocorre com as sementes de chia que quando entram em contato com a água (FIG 9), é exsudado rapidamente um gel transparente e mucilaginoso no qual forma uma cápsula em torno da semente (CÂMARA *et al.*, 2020).

A mucilagem está localizada nas células externas que formam o tegumento, chamadas células mucilaginosas. O tegumento da semente é formado por três camadas: uma camada externa formada por células retangulares de paredes delgadas onde se encontra a mucilagem; uma camada esclereide de células longas e finas que se assemelham a fibras, e o endocarpo, uma camada fina e interna. A mucilagem presente no interior da célula epidérmica do tegumento quando em contato com a água, imediatamente se expande, rompendo a camada celular primária e exsudando a mucilagem em torno da semente (MUÑOZ *et al.*, 2012).

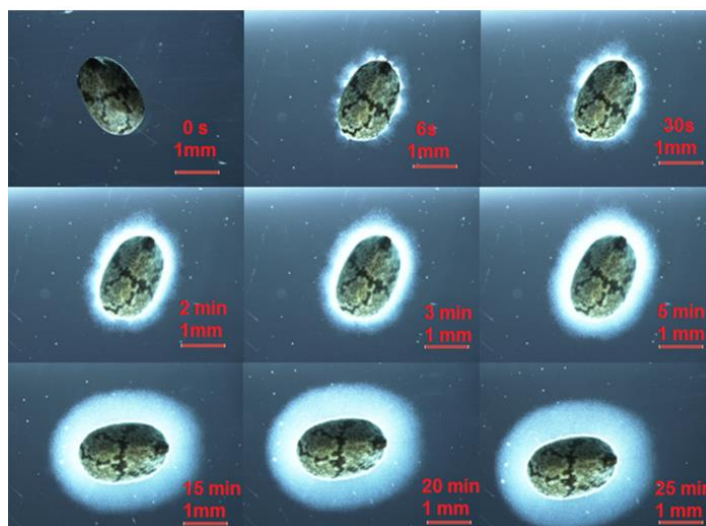


FIGURA 9 – Exsudação de mucilagem de chia em decorrência do tempo

(Fonte: SALGADO-CRUZ *et al.*, 2013).

Windsor *et al.* (2000) e North *et al.* (2014) descreveram o processo de exsudação da mucilagem em sementes de *arabidopsis* (FIG 10), uma semente alvo de inúmeros estudos em diversas áreas da ciência. O conhecimento sobre o controle do tamanho das sementes na planta modelo *Arabidopsis thaliana* fornece informações sobre o melhoramento molecular para o beneficiamento de culturas.

Inicialmente, as células pós-fertilização têm um grande vacúolo único que comprime o citoplasma até as bordas da célula (FIG 10 A). Quando o embrião passa do estágio embrionário de coração, há um aumento do tamanho da célula e a formação de grânulos de amido (FIG 10 B). No estágio embrionário de torpedo há um acúmulo de polissacarídeos da mucilagem no apoplasto das células (FIG 10 C). É formada uma coluna central de citoplasma, preenchida por grânulos de amido, pela deposição polar de polissacarídeos da mucilagem (FIG 10 D). A coluna citoplasmática é gradualmente preenchida com o material da parede celular secundária, que também é depositado ao longo da parte inferior da célula e das paredes celulares radiais. O citoplasma é reduzido e os grânulos de amidos são degradados (FIG 10 E). Com a maturação da semente ocorre a morte celular, e então, a dessecação da semente desidrata os polissacarídeos da mucilagem em uma camada fina ao redor da columela central (FIG 10 F). Durante a hidratação da semente, ocorre o aumento de volume dos

polissacarídeos da mucilagem que pressionam a parede celular primária distal (FIG 10 G). A parede celular distal se rompe devido à pressão exercida pelos polissacarídeos da mucilagem, lançando-os em torno da semente (FIG 10 H) (NORTH *et al.*, 2014).

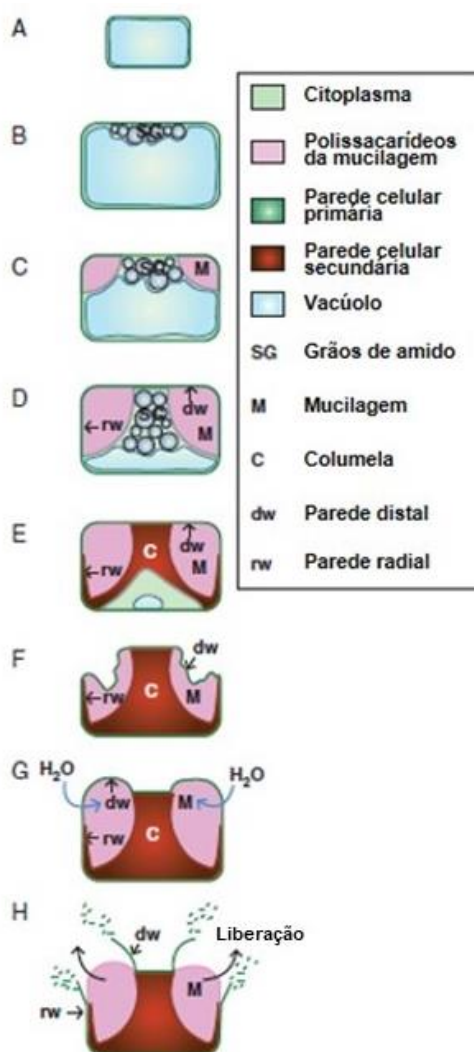


FIGURA 10 – Ilustração esquemática de células epidérmicas do tegumento de sementes de *Arabidopsis thaliana*.

(Fonte: NORTH *et al.*, 2014).

A mucilagem representa cerca de 6% do peso da semente e é composta por um heteropolissacarídeo formado principalmente por xilose e glicose na proporção de 2:1, além de um conteúdo significativo de ácido urônico (ácido glicurônico e ácido galaturônico) e outros açúcares neutros como

arabinose e galactose (CÂMARA *et al.*, 2020). Na literatura encontra-se valores bastante variáveis de composição química devido a variação de acordo com o método de extração e secagem da mucilagem. Antigo *et al.* (2020) analisaram a composição química de mucilagem de chia submetidas a dois métodos de secagem, liofilização e estufa/ forno. Os valores foram expressos em g/100g de amostra seca em forno e liofilização, respectivamente e foi obtido 12,69 – 10,02 de umidade; 10,88 – 10,49 de cinzas; 9,38 – 9,14 de proteína; ,1,98 – 1,90 de lipídeos; 59,49 – 56,02 de carboidratos e 18,27 – 22,45 de fibra bruta.

3.6 Utilização da mucilagem de chia

Atik *et al.* (2020), compararam propriedades químicas e tecnológicas entre mucilagem de chia e goma guar em concentrações de 1, 2 e 3% em iogurtes. Os resultados mostraram que a fortificação do iogurte com a mucilagem de chia melhoraram não apenas as propriedades de textura como firmeza, consistência e redução de sinerese, como também possuiu maior atividade antioxidante em comparação com a goma guar, sem afetar a aceitabilidade do consumidor.

A mucilagem de chia em forma de gel foi testada como substituto de gordura de porco em modelos de emulsão cárnea contendo concentrações de 15%, 20% e 25% deste gel, no qual é composto de 2,5 a 5% de mucilagem propriamente dita. Houve melhoras significativas em relação a diminuição de exsudação de água e estabilidade das emulsões cárneas com a adição dos géis de mucilagem de chia, que são parâmetros importantes para a qualidade de produtos cárneos. Concluindo que a reformulação de produtos cárneos com adição de mucilagem de chia é uma estratégia promissora (CÂMARA *et al.*, 2020).

Punia & Dhull (2019) testaram a mucilagem de chia como substituto de gordura em biscoitos em concentrações de 0, 10, 20, 30 e 40%. Além de não afetar propriedades técnicas do biscoito, a mucilagem de chia reduziu o teor calórico em comparação com o controle. Biscoitos com suplementação de 30% de mucilagem de chia obtiveram melhor avaliação sensorial, textura, coloração, resultando em alto aceitabilidade.

Dentre outras inúmeras aplicações da mucilagem de chia, Campos *et al.* (2016) mostraram que a mucilagem é eficiente substituta de emulsificante e estabilizante em sorvetes, mantendo a qualidade do produto final e Felisberto *et al.* (2015) demonstraram que a substituição de até 25 g de gel de mucilagem de chia a cada 100 g de gordura é tecnologicamente viável em bolos, sem alterações significativas em suas características de qualidade. As pesquisas sobre chia mais do que triplicaram nos últimos dez anos.

A produção científica relacionada a produtos alimentícios pode ser classificada em cinco grupos: assados, laticínios, carnes e peixes, produtos sem glúten e outros produtos, como alimentos funcionais, hidrocolóides e espessantes e a chia pode integrar pesquisas na maioria dos grupos mencionados. As diversas aplicações em alimentos mostraram que a incorporação de chia pode levar à redução da ingestão de gorduras saturadas e ao aumento da ingestão de ácidos graxos ω -3, além disso, a quantidade de fibras alimentares é aumentada, diminuindo riscos para diversas doenças. A aplicação como espessante não calórico e o conceito de melhora de perfil nutricional e aspectos funcionais de produtos alimentícios são conceitos promissores para utilização das sementes de chia e seus subprodutos (ZETTEL & HITZMANN, 2018).

3.7 Reologia de alimentos

A reologia é a ciência da deformação e do escoamento da matéria, ou seja, o estudo da maneira na qual os materiais respondem à aplicação de uma determinada tensão ou deformação. Todos os materiais possuem propriedades reológicas, sólidos e líquidos, logo a reologia pode ser aplicada a várias áreas da ciência (TONELI *et al.*, 2005).

Os alimentos são materiais de estrutura complexa, composto por água, proteína, carboidratos, lipídeos e fibras, onde todos estes constituintes podem influenciar o comportamento de fluxo do fluido. A reologia é a ciência dos materiais em alimentos, onde é essencial em cálculos em engenharia de processos, em equipamentos industriais, funcionalidade de ingredientes para desenvolvimento de produtos, controle de qualidade de produtos, testes de

tempo de prateleira, avaliação de textura e testes sensoriais de alimentos (STEFFE, 1996; AHMED *et al.*, 2017).

A viscosidade dos fluídos não pode ser medida diretamente, ela depende da correlação entre os parâmetros de tensão de cisalhamento (τ) e a taxa de deformação ($\dot{\gamma}$). Isaac Newton (1643 – 1727) foi o primeiro a descrever uma lei que representasse esta correlação. O estudo dos fluídos pode ser realizado submetendo o material à cisalhamento contínuo, à uma taxa constante. Esse procedimento pode ser realizado usando duas placas paralelas com o fluido no espaço entre elas (FIG 11). A placa inferior permanece imóvel, e uma força é aplicada sobre a placa superior movendo-a a uma velocidade constante, gerando um gradiente de deformação do fluído. A resistência interna do líquido é denominada viscosidade para fluidos newtonianos, e viscosidade aparente para fluídos não-newtonianos. Para tal classificação, utiliza-se a correlação entre taxa de cisalhamento e tensão de cisalhamento (FIG 12, 13) (STEFFE, 1996).

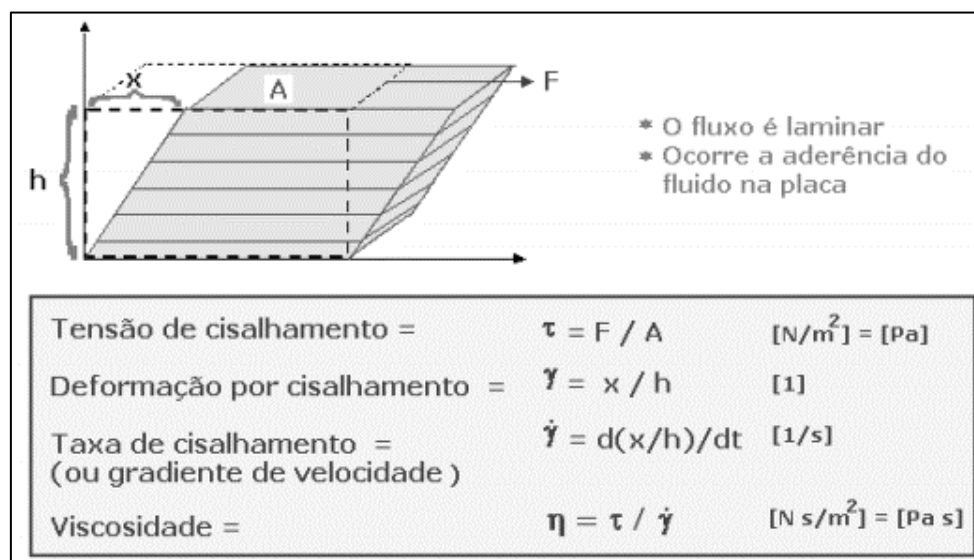


FIGURA 11 – Modelo de placas paralelas e equações matemáticas de parâmetros reológicos.

(Adaptado de: NASCIMENTO, 2008).

Os fluídos podem ser classificados de acordo com seu comportamento (FIG 12). Fluídos newtonianos possuem proporcionalidade na razão entre taxa de cisalhamento e tensão de cisalhamento ($n = 1$), gerando

uma relação linear em curvas de escoamento (FIG 13). Água, óleos, solventes orgânicos, e soluções de glicose e sacarose são exemplos de fluidos newtonianos (CAPELLI, 2012).

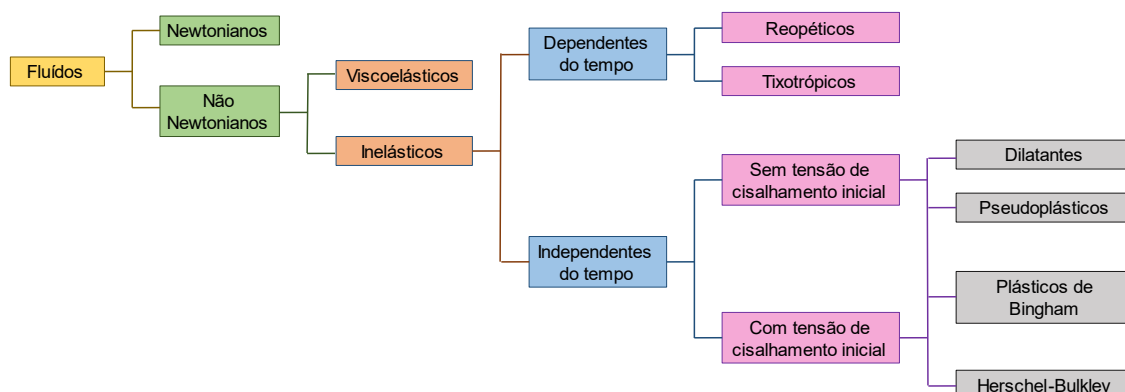


FIGURA 12 – Classificação dos fluidos.

(Adaptado de: BRODKEY, 1967)

Para fluidos não-newtonianos a razão entre taxa de cisalhamento e tensão de cisalhamento não é proporcional, gerando razões não lineares em curvas de fluxo (FIG 13). Os fluidos não-newtonianos são classificados em viscoelásticos e inelásticos, onde possuem outras classificações (FIG 12).

Os fluidos viscoelásticos quando sujeitos a uma tensão de cisalhamento são deformados, entretanto, quando a tensão cisalhante é cessada ocorre uma recuperação da deformação sofrida, apresentando características intermediárias entre um fluido puramente viscoso e um sólido puramente elástico (DIAS, 2005).

A análise oscilatória é um campo da reologia, que tem por objetivo caracterizar a viscoelasticidade de um material, geralmente sob pequenas tensões e deformações, onde G' representa o componente em fase denominado módulo de armazenamento de energia ou módulo elástico; e G'' é o componente fora de fase denominado módulo de perda de energia ou módulo viscoso (ZHONG, 2019).

Os fluidos inelásticos são classificados em: dependentes do tempo e independentes do tempo (FIG 12).

Os fluidos dependentes do tempo são divididos em reopéticos e tixotrópicos. Os fluidos reopéticos são aqueles em que a viscosidade aparente aumenta em função do tempo, quando a temperatura, a composição e a taxa de cisalhamento são constantes. Os fluidos tixotrópicos diminuem a viscosidade em função do tempo, mantendo as mesmas condições constantes (VASQUEZ, 2003).

Os fluidos independentes do tempo, são classificados em: fluidos sem tensão de cisalhamento inicial, que são os pseudoplásticos e dilatantes; e com tensão de cisalhamento inicial que são fluidos de Bingham e Herschel-Bulkley (FIG 12)

Para pseudoplásticos, a viscosidade aparente diminui em função do aumento da taxa de cisalhamento ($n < 1$), enquanto os fluidos dilatantes aumentam a viscosidade aparente em função do aumento da taxa de cisalhamento ($n > 1$). Fluidos de Bingham apresentam uma resistência inicial ao escoamento (τ_0), onde só começam a escoar depois uma tensão de cisalhamento específica. Os fluidos de Bingham apresentam proporcionalidade na razão entre taxa de cisalhamento e tensão de cisalhamento ($n = 1$), gerando uma relação linear em curvas de escoamento, enquanto os fluidos Herschel-Bulkley podem aumentar ou diminuir a viscosidade aparente em função da taxa de cisalhamento ($n \neq 1$) após a tensão de cisalhamento inicial requerida (τ_0) (FIG 13) (TONELI *et al.*, 2005).

A maioria dos fluidos alimentícios apresentam comportamento de pseudoplásticos. Soluções de polissacarídeos como gomas, apresentam diferentes valores de viscosidade conforme o aumento da taxa de cisalhamento, mas de forma geral, a maioria apresenta comportamento pseudoplástico (CAPELLI, 2012).

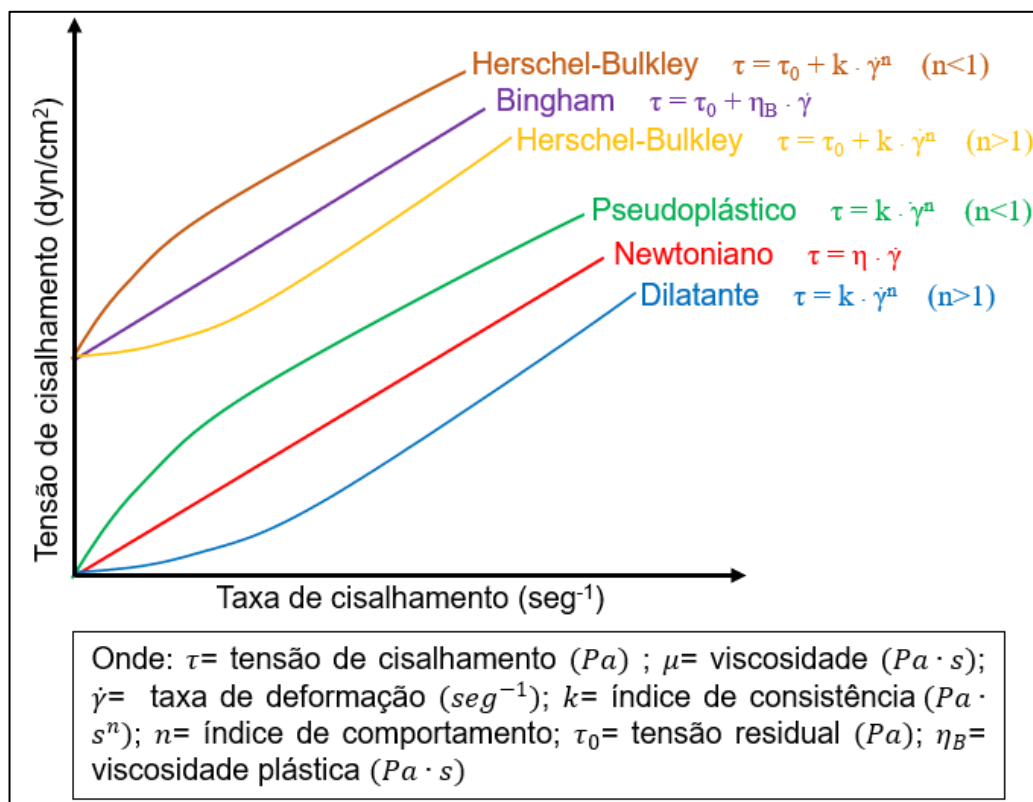


FIGURA 13 – Curva de escoamento, classificação dos fluídos e equação de modelos reológicos.

(Adaptado de: CHHABRA & RICHARDSON, 2008)

Modelos reológicos podem ser utilizados para obter maior compreensão da resposta do fluxo, após a coleta dos dados de tensão de cisalhamento e taxa de cisalhamento. Modelos reológicos são expressões matemáticas que relacionam diversos parâmetros avaliados em curvas de fluxo e de viscosidade, onde fornecem uma “impressão digital” para determinado fluido ou alimento. Os ajustes de modelos reológicos permitem a previsão do comportamento reológico em condições de processamento, dimensionamento de equipamentos, além de ser de grande interesse no controle de qualidade (JOYNER & DAUBERT, 2017).

3.8 Radiação ionizante: radiação gama

As radiações são produzidas por processos de ajustes que ocorrem no núcleo ou nas camadas eletrônicas, ou pela interação de outras radiações ou

partículas com o núcleo ou com o átomo. Devido à intensidade das forças atuantes dentro do núcleo atômico, as radiações nucleares são altamente energéticas quando comparadas com as radiações emitidas pelas camadas eletrônicas. A radiação gama é altamente ionizante e possui comprimento de onda bastante reduzido em comparação com outras ondas eletromagnéticas (FIG 14) (TAHUATA *et al.*, 2013).

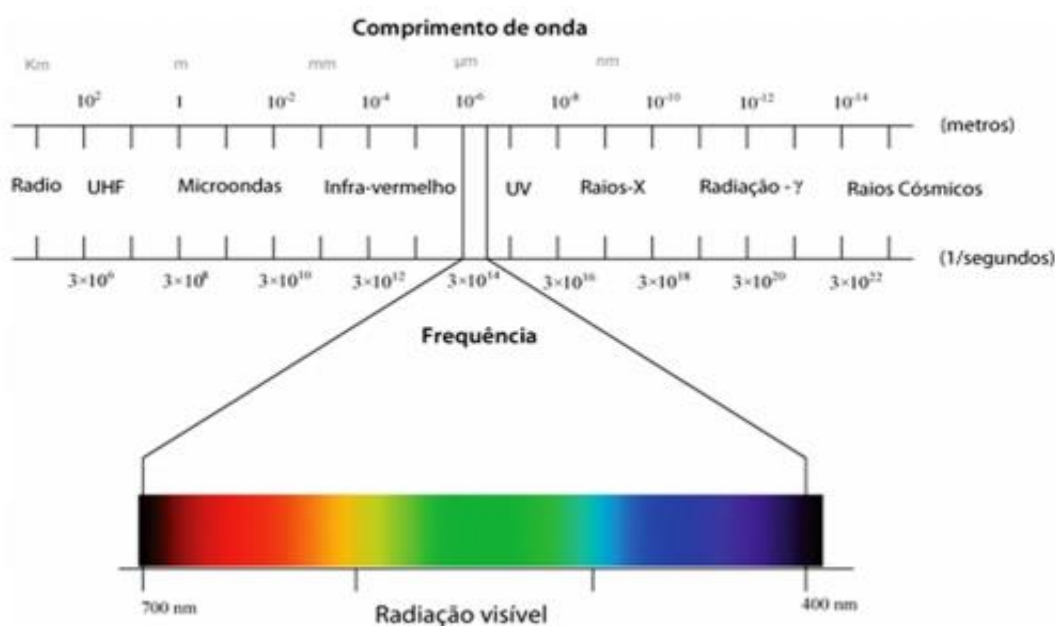


FIGURA 14 – Espectro eletromagnético.

(Fonte: RODRIGUES & BRIZOLA, 2019)

A radiação gama é uma forma penetrante de radiação eletromagnética proveniente do decaimento radioativo do núcleo atômico. Se os componentes nucleares se encontram em estados excitados, para atingir o estado fundamental, emitem a energia excedente sob a forma de radiação eletromagnética, ou fótons. A energia deste tipo de radiação é medida em Megaelétron-volts (MeV). Um MeV corresponde a fótons gama de comprimentos de onda inferiores a 10^{11} m ou frequências superiores a 10^{19} Hz (TAHUATA *et al.*, 2013).

A radiação gama pode interagir com a matéria de diversas formas, dentre elas o Efeito Compton, Efeito Fotoelétrico e Produção de Pares (FIG 15). O Efeito Compton consiste na colisão entre o fóton e um elétron livre (geralmente

da camada de valência) onde parte da energia é transferida em energia cinética para o elétron que é ejetado da eletrosfera, e outra parte conservada pelo fóton espalhado. O Efeito Fotoelétrico consiste na transferência total da energia do fóton incidente para energia cinética do elétron ejetado. O efeito da Produção de Pares é predominante quando a energia do fóton é alta, onde o fóton incidente interage com os campos nucleares e é absorvido e toda sua energia é convertida em massa de repouso e energia cinética, ejetando um par elétron-pósitron (OKUNO & YOSHIMURA, 2010).

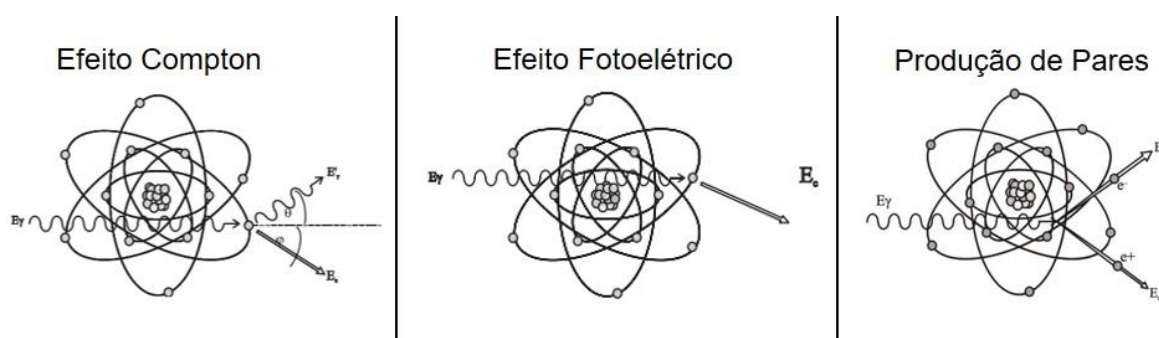


FIGURA 15 – Interações da radiação com a matéria.

(Adaptado de: TAHUATA *et al.*, 2013)

3.9 Irradiação de alimentos: Aspectos históricos e legislação

Desde o início do século XX já haviam trabalhos nos quais associavam algum tipo de energia eletromagnética e alimentos, porém devido à escassez de fontes e equipamentos apropriados, os trabalhos eram desenvolvidos sob condições experimentais, não representando nenhuma perspectiva de aplicação prática da tecnologia.

Após o fim da segunda guerra mundial é que começam a ser desenvolvidos irradiadores de maior porte permitindo aplicações em maior escala (MASTRO, 1999).

A partir dos anos 1960 começou a ser estudada a aplicação da radiação ionizante industrialmente em alimentos, através de encontros patrocinados pela FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura), OIEA (Organismo Internacional de Energia Atômica, ou IAEA em inglês) e OMS (Organização Mundial da Saúde) voltado para a discussão dos

diversos aspectos do processamento. O *Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee on the Wholesomeness of Irradiated Foods (JECFI)* teve reunião em 1975 para discutir a salubridade de alimentos irradiados. Já em 1976, no segundo encontro do JECFI foi recomendado considerar a irradiação de alimentos como processamento físico em vez de aditivos alimentares. A terceira reunião do JECFI, em 1980, declarou que não havia nenhum risco toxicológico, nutricional ou microbiológico em alimentos irradiados até 10 kGy ou menos. Em 1983, a Comissão do Codex Alimentarius adotou o “*General Standard for Irradiated Food*” (FARKAS & MOHÁCSI-FARKAS, 2011; NISHIHIRA, 2020).

Na década dos 1980 foi decidida a criação permanente do Grupo Consultivo Internacional sobre Irradiação de Alimentos-GCIIA (em inglês ICGFI) a partir do *Comité Misto FAO/OIEA/OMS de Especialistas en Irradiación de los Alimentos*. O grupo era convocado anualmente junto com o *Codex Alimentarius Commission* (CAC) e especialistas designados pelos respectivos países. O Brasil foi representado pela Dra. Nélide Lucia del Mastro. O ICGFI deixou de existir em maio de 2004. Uma descrição da sequência desses primeiros eventos foi publicada por Loaharanu em 1997.

No Brasil o início da movimentação sobre legislação sobre irradiação de alimentos ocorreu com o Decreto – Lei nº 986 de 21 de outubro de 1969, onde estabelecia normas gerais. Mais tarde, o Decreto – Lei nº 72.718, de 29 de agosto de 1973, estabelece normas gerais sobre irradiação de alimentos, onde era autorizada a irradiação apenas de alimentos ou grupos alimentares nos quais dispunham de trabalhos científicos aprovados pela CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear). As portarias nº 9 de 8 de março de 1985 e nº 30 de 25 de setembro de 1989, ambas revogadas, estabeleceram normas indicando para cada caso o tipo, nível e dose média de energia de radiação, além de limitar a dose de 10 kGy e proibir a reirradiação (MONDANEZ, 2012).

Atualmente no Brasil a legislação vigente é a RDC nº 21, de 26 de janeiro de 2001 (BRASIL - ANVISA), no qual permite que qualquer alimento poderá ser irradiado desde que sejam seguidas as seguintes condições: A dose mínima absorvida deve ser suficiente para alcançar a finalidade pretendida; e a dose máxima absorvida deve ser inferior àquela que comprometeria as propriedades funcionais e ou os atributos sensoriais do alimento.

As radiações ionizantes permitidas para aplicação em alimentos são aquelas recomendadas pelo *Codex Alimentarius*: i) Raios gama provenientes dos radionuclídeos ^{60}Co ou ^{137}Cs ; ii) Raios X gerados por máquinas de até 5 MeV; iii) Feixe de elétrons gerados por máquinas de até 10 MeV.

Ainda segundo a legislação vigente, na rotulagem dos alimentos irradiados deve constar no painel principal: “Alimento tratado por processo de irradiação”, com letras de tamanho não inferior a um terço do da letra de maior tamanho nos dizeres de rotulagem. O uso da radura (FIG 16) para identificação de tratamento por radiação é opcional.



FIGURA 16 – Radura – símbolo internacional para identificação de alimentos irradiados.

A irradiação de alimentos é uma tecnologia eficiente que pode ser usada para garantir a segurança do alimento, eliminando insetos e patógenos, prolongando o tempo de prateleira, retardo do amadurecimento e germinação de algumas espécies. As mudanças provocadas pela irradiação dos alimentos são geralmente aceitáveis em termos sensoriais e nutricionais, as mudanças provocadas pela irradiação em produtos alimentícios são semelhantes às observadas no processamento geral de alimentos, por exemplo, aquecimento ou congelamento. Também evita a dependência de métodos químicos, como fumigação ou pesticidas, que são usados para combater bactérias e outras pragas. Entretanto como todo e qualquer processamento de alimentos, apresenta uma faixa limitada de aplicação (NISHIHARA, 2020; RAVINDRAN & JAISWAL, 2019; MASTRO, 2015).

3.10 Processo de irradiação de alimentos

O processo de irradiação consiste em expor o alimento a uma fonte de radiação ionizante, que pode ser originada de uma fonte com isótopos de ^{60}Co ou elétrons acelerados e raios X produzidos por equipamentos (FIG 17).

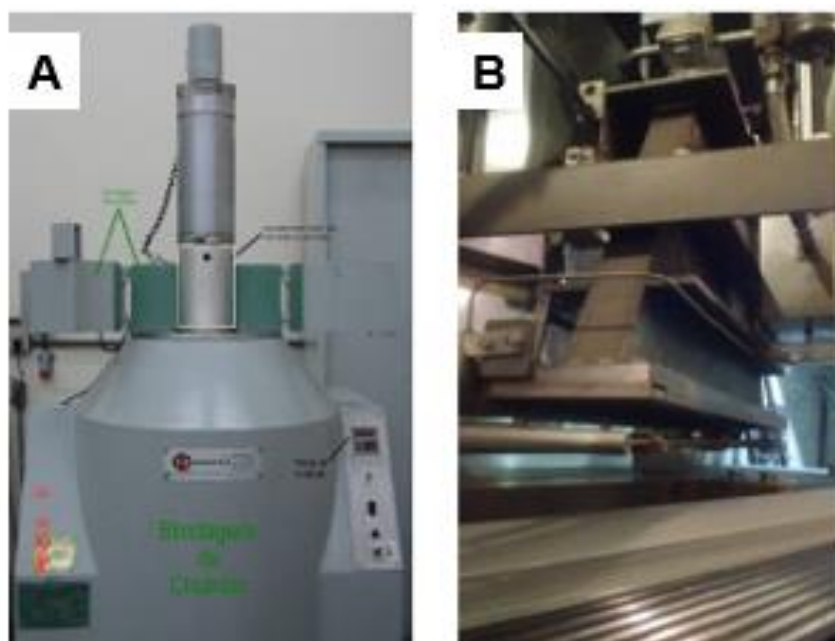


FIGURA 17 – Irradiadores: A – Fonte de ^{60}Co , Gammacell 220, Radiation Dynamics; B – Acelerador de elétrons Dynamitron, Radiation Dynamics.

Os alimentos contêm geralmente um alto percentual de água. A aplicação da radiação ionizante no processamento de alimentos baseia-se principalmente no efeito indireto (FIG 18) das radiações ionizantes, através da ionização e excitação de átomos da água, gerando radicais livres. Estes radicais interagem com componentes celulares e moléculas como enzimas, macromoléculas, vitaminas e antioxidantes. Além disso, as radiações ionizantes danificam o DNA e as células vivas se tornam inativas, microrganismos, insetos e parasitas são impedidos de se reproduzir, resultando em vários efeitos dependendo da dose de radiação absorvida (PEDRESCHI & MARIOTTI-CELIS, 2020; FANARO *et al.*, 2015).

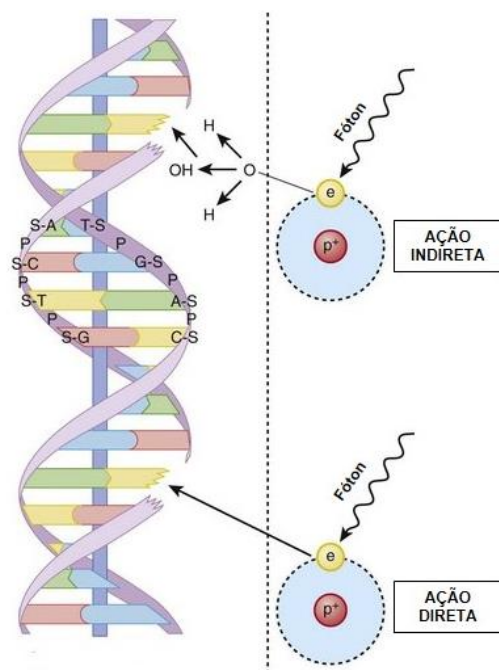


FIGURA 18 – Efeito direto e indireto da radiação ionizante.

O efeito das radiações ionizantes é dose-dependente, no qual pode se alcançar o objetivo desejado com faixas de doses específicas (TAB 4).

TABELA 4 – Doses de radiação recomendadas para diversos objetivos

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

(Adaptado de: DEL MASTRO, 2015)

A irradiação leva à oxidação, hidrólise, polimerização, decarboxilação de ácidos graxos e lipídios e libera vários compostos, dependendo da

composição. A radiólise de triglicérides dá origem as 2-alcilclobutanonas (2-ACBs), nas quais são formadas exclusivamente pelo processo de irradiação, não existindo de outra forma na natureza. Estudos têm relatado que os 2-ACBs não apresentam efeitos mutagênicos ou genotóxicos nas linhas de células dos mamíferos em baixas concentrações. No entanto, o consumo desses produtos químicos em doses mais altas resultou em citotoxicidade e danos ao material genético em células de cólon de ratos e humanos. Entretanto, nem todos os produtos radiolíticos causam riscos à saúde; além de serem consumidos em concentrações muito baixas para afetar a maioria dos sistemas biológicos. Os aspectos de segurança devem ser considerados em estreita conjunção com estudos toxicológicos de alimentos irradiados. Nem todos os alimentos são adequados para serem irradiados. (RAVINDRAN & JAISWAL, 2019).

Mais de meio século de pesquisas estabeleceram que os alimentos irradiados em doses apropriadas são seguros. Os alimentos irradiados são geralmente nutricionalmente equivalentes ou até, em alguns casos, mais nutritivos que os alimentos não irradiados submetidos a outros métodos de processamento. A irradiação não acarreta perdas de nutrientes a ponto de ter um efeito adverso sobre o estado nutricional de indivíduos e populações (NISHIHIRA, 2020).

Com o constante risco de contaminação microbiana em produtos alimentícios e a ameaça de novas doenças transmitidas por alimentos, a aplicação de irradiação para garantir a segurança e a qualidade dos alimentos está sendo testada para alimentos especiais e de alto valor nutricional (MASTRO, 2011; TEIXEIRA *et al.*, 2012; INAMURA *et al.*, 2012; FELICIANO, 2018).

4 METODOLOGIA

A sequência dos processos e análises ocorreram conforme o fluxograma descrito na FIG 19.

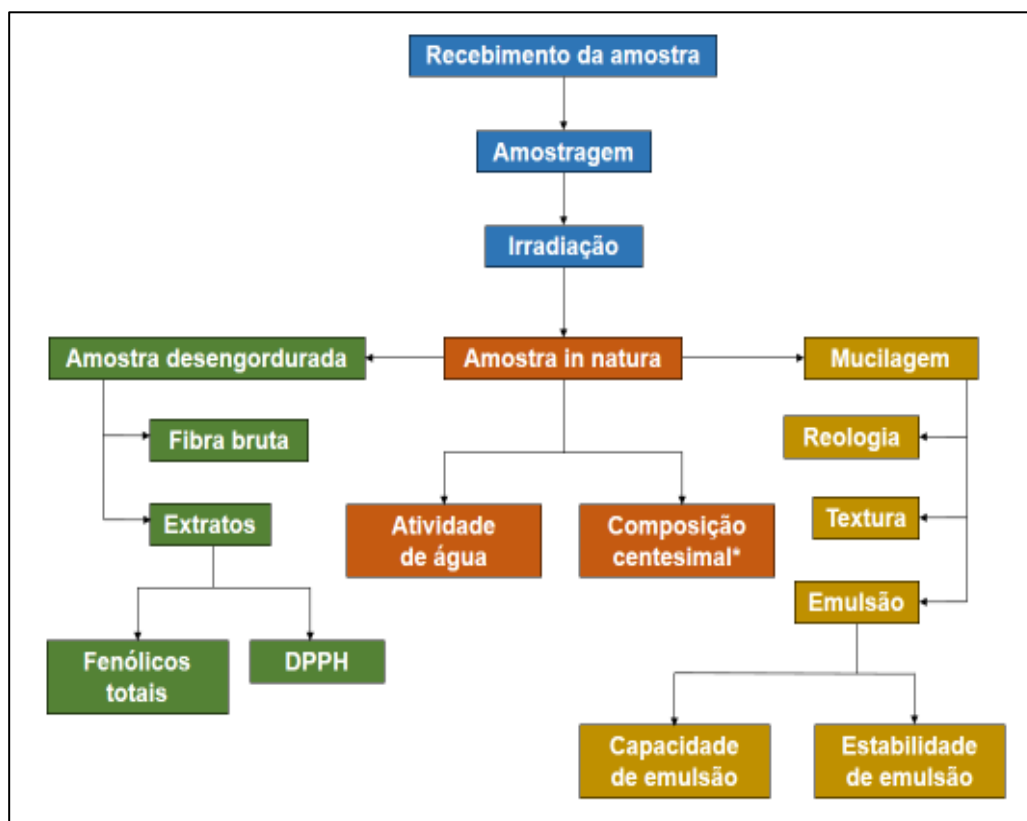


FIGURA 19 – Fluxograma de análises e processos.

4.1 Material

As sementes de chia, fornecidas por Casa Forte Distribuidora de Produtos Alim. Ltda, foram distribuídas em 4 sacos de polietileno e armazenadas em temperatura ambiente até a data da irradiação. Cada ensaio utilizou uma quantidade específica de amostra, apresentada nos respectivos itens.

4.2 Irradiação

As sementes foram submetidas ao processo de irradiação em sacos de polietileno contendo 500 g cada em um irradiador gama Gammacell 220, Atomic Energy of Canada Ltd (FIG 17 A), localizado no Centro de Tecnologia das Radiações (CETER) do IPEN. Além do grupo controle (0 kGy), as doses aplicadas foram 5, 10 e 20 kGy, A taxa de dose foi de $0,6 \pm 0,1 \text{ kGy h}^{-1}$. O valor da dose nominal nos experimentos corresponde à dose esperada calculada com a taxa de dose certificada (dosimetria Fricke) e o decaimento radioativo. Após o processo de irradiação as amostras foram novamente armazenadas em temperatura ambiente.

4.3 Análise de composição centesimal

As amostras de 50 g cada foram trituradas separadamente em moinho convencional e armazenadas em sacos de polietileno. As análises a seguir foram realizadas em duplicata, 122 dias após a irradiação, nos laboratórios da Escola SENAI "Horácio Augusto da Silveira", São Paulo – SP. Análise de umidade com base nos métodos 12/IV e 13/IV – IAL (2008), proteínas pelo método Kjeldahl (AOAC 2001.11, 2002), lipídeos totais com base nos métodos 32/IV e 33/IV – IAL (2008), cinzas pelo método 18/IV – IAL (2008), além de carboidratos que são quantificados através da diferença entre 100 e a soma do conteúdo de proteínas, gorduras, umidade e cinzas (equação 1) com base na Resolução nº 360, de 23/12/2003 (BRASIL - ANVISA). O teor calórico total também foi estabelecido segundo Resolução nº 360, de 23/12/2003 (equação 2) (BRASIL - ANVISA), pelos fatores de conversão de gramas para calorias, e a somatória dos valores levando em conta carboidratos 4 kcal/g, proteínas 4 kcal/g e lipídeos 9 kcal/g.

Equação 1:

$$\text{Carboidratos \%} = 100 - (\% \text{ umidade} + \% \text{ cinzas} + \% \text{ proteína bruta} + \% \text{ lipídeos totais} + \% \text{ fibra bruta})$$

Equação 2:

$$\text{Valor energético total} = (\% \text{ carboidrato} \times 4) + (\% \text{ de proteínas} \times 4) + (\% \text{ lipídeos} \times 9)$$

4.4 Determinação do conteúdo de minerais por análise de ativação neutrônica

Cinco alíquotas de cada amostra de chia, que variaram de 146 a 344 mg, foram pesadas dentro de envelopes de polietileno apropriados para a irradiação. Duas subamostras e padrões de Ba, Cl, Cu Mg, Mn, Ti e V foram irradiados juntos, sob fluxo de nêutrons de $9 \times 10^{11} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, por 30 segundos. Para a análise dos elementos As, Br, Ca, Cr, Co, Fe, K, La, Mo, Na, Rb, Sb, Sc, Se e Zn três subamostras e padrões desses elementos foram irradiados por 8 horas, sob fluxo de $0,97 \times 10^{12} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Nos dois casos foram irradiados simultaneamente 2 materiais de referência certificado, *Rice Flour* (NIES-CRM-10C) e *Soil 7* da AIEA, para monitorar a qualidade dos padrões. As medidas da radiação gama emitida pelos radionuclídeos produzidos na irradiação foram feitas em um espectrômetro gama, constituído de detector de Ge hiperpuro, modelo GX 2020 da Canberra, com resolução de 1,90 keV para o pico de 1332,49 keV do ^{60}Co , acoplado a uma eletrônica associada e a computador para aquisição e análise dos dados.

4.5 Determinação da atividade de água

Para a análise de atividade de água foi utilizado o equipamento de medição automática AquaLab Series 4TE. As amostras in natura foram acondicionadas nos recipientes próprios do equipamento e submetidas a análise (244 dias após irradiação, n = 9).

4.6 Extração da gordura

As sementes previamente trituradas em moinho convencional, foram desengorduradas com n-hexano na proporção de 1:15 (m/v) e agitadas mecanicamente por 6 h em temperatura ambiente. Os tubos foram agitados em vórtex e filtradas a vácuo. As amostras desengorduradas obtidas foram utilizadas para análise de fibra bruta (Item 4.6), obtenção dos extratos (Item 4.7), testes de quantificação de fenólicos totais (Item 4.8) e determinação de atividade antioxidante (Item 4.9).

4.7 Determinação de fibra bruta

A determinação de fibra bruta das amostras foi baseada no método 44/IV – IAL (2008). A amostra desengordurada (0,1 g) foi submetida a uma digestão ácida em 5 mL de solução de H₂SO₄ (0,15 M) em balão volumétrico em chapa aquecedora acoplado a um condensador e fervendo o conteúdo por 30 min. Após resfriamento, foi adicionado 2,5 mL de solução de NaOH (1,5 M) para a digestão básica, fervendo o conteúdo por 30 min.

Após os processos de digestão, o conteúdo foi filtrado a vácuo com papel de filtro previamente pesado e armazenado em dessecador. A amostra retida no papel de filtro foi lavada com água destilada até alcançar o pH neutro. Após atingir a neutralidade, a amostra foi lavada 3 vezes com 5 mL de álcool etílico por vez e 3 vezes com 5 mL de éter etílico por vez.

O papel de filtro foi mantido em estufa a 105 °C até peso constante e após o resfriamento, o papel filtro foi pesado e quantidade de fibras foram obtidas pela equação 3 (315 dias após irradiação, n = 3).

Equação 3:

$$\text{Fibra bruta} = \text{Massa final do papel com a amostra} - \text{Massa inicial do papel filtro}$$

4.8 Obtenção dos extratos

A extração foi realizada de acordo com Marineli *et al.* (2014) com modificações. Os compostos foram extraídos com solvente etanol 70% (1 g de amostra desengordurada / 10 mL de solvente de extração). As suspensões foram mecanicamente agitadas por 3 h em temperatura ambiente, em seguida foram centrifugadas a 3000 x g por 15 min a 25 °C ± 1 °C. Os extratos produzidos foram utilizados para os testes de quantificação de compostos fenólicos totais e potencial antioxidante através da redução de radicais DPPH.

4.9 Quantificação de compostos fenólicos

O conteúdo total de compostos fenólicos foi analisado em triplicata, segundo o método Folin Ciocalteu (SWAIN & HILLIS, 1959) com modificações. Em uma microplaca para leitura em espectrofotômetro, 50 µL de extrato, 800 µL de água destilada e 25 µL (0,25 N) de reagente Follin Ciocalteu foram misturados e incubados no escuro, sob temperatura ambiente por 3 min. Logo após 100 µL Na₂CO₃ (75 g/L) foi adicionado e então a placa foi incubada no escuro por 2 h, sob temperatura ambiente. A absorbância foi lida a 725 nm em um leitor de microplaca (301 dias após irradiação, n = 8). A curva de calibração foi feita com de soluções de 1,6 até 225 g de ácido gálico/ mL de água (n = 3). Os resultados foram expressos em µg de equivalente de ácido gálico/ g de amostra (µgEAG/g).

4.10 Determinação do potencial antioxidante pela redução de radicais DPPH

A atividade antioxidante dos extratos foi determinada baseada no método DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo), que possui cor púrpura, e é reduzido pelos componentes da amostra, formando difenil-picril-hidrazila, de coloração amarela, podendo a reação ser monitorada pelo decréscimo da absorbância (RUFINO *et al.*, 2007). Foram adicionados 33 µL dos extratos em 1,3 mL de solução de DPPH em metanol (0,024 mg/mL) e agitados e logo após incubados

no escuro por 30 min, sob temperatura ambiente. Após isso a leitura da absorbância foi feita em espectrofotômetro a 515 nm (301 dias após irradiação, n= 6). A curva de calibração foi feita com o reagente Trolox (6-Hidroxi-2,5,7,8-tetrametilchroman-2-ácido carboxílico) com soluções de 100 a 1000 μM (n = 3). Os resultados foram expresos em μmol de equivalentes de Trolox/ g de amostra ($\mu\text{molET/g}$).

4.11 Extração da mucilagem

A mucilagem de chia foi obtida com base no método de Brütsch *et al.* (2019) e Dick *et al.* (2015). As sementes foram hidratadas em água destilada em uma proporção 1:30 (semente: água), com agitação magnética por 2h em temperatura ambiente (FIG 20). A mucilagem formada foi separada por centrifugação a 11600 x g por 30 min, em tubos de 50 mL. Após esse processo a nuvem de mucilagem mais densa foi pipetada. A mucilagem de chia extraída por este método foi utilizada nas análises posteriores.

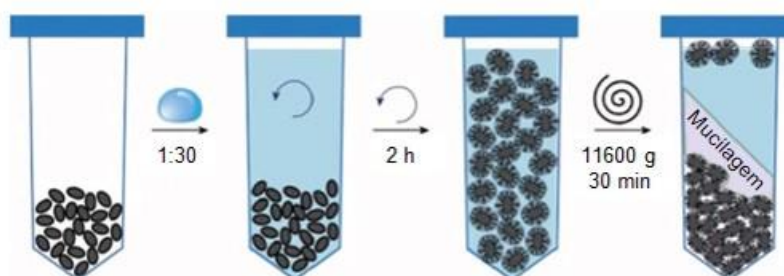


FIGURA 20 – Esquema da formação e extração de mucilagem de chia

(Adaptado de: BRÜTSCH *et al.*, 2019).

4.12 Reologia

A caracterização do comportamento reológico da mucilagem foi obtida utilizando um viscosímetro Brookfield DV-III (FIG 21), com o spindle 18 acoplado, sob temperatura de 25 ± 1 °C.



FIGURA 21 – Viscosímetro Brookfield, modelo DV-III, utilizado para o estudo reológico da mucilagem de chia

Os valores de velocidade de rotação do spindle, viscosidade e taxa de cisalhamento foram obtidas através do software Rheocalc. O teste foi realizado em triplicata com 5 repetições para cada velocidade de taxa de cisalhamento, seguido 510 dias após data da irradiação.

Afim de classificar o comportamento reológico das mucilagens, foi realizada a aplicação dos modelos de ajuste reológico (TAB 5). Foram aplicados os parâmetros matemáticos de regressões lineares e não lineares no software Excel, para os seguintes modelos de ajuste reológicos: Newtoniano, Lei da Potência, Bingham e Herschel-Bulkley.

TABELA 5 – Modelos reológicos utilizados nos ajustes das curvas de escoamento de mucilagem extraída de sementes de chia irradiadas.

Newtoniano	Lei da Potência	Plástico de Bingham	Herschel-Bulkley
$\tau = \mu \cdot \dot{\gamma}$	$\tau = k \cdot \dot{\gamma}^n$	$\tau = \tau_0 + \eta_B \cdot \dot{\gamma}$	$\tau = \tau_0 + k \cdot \dot{\gamma}$

Onde: τ = tensão de cisalhamento (Pa); μ = viscosidade ($Pa \cdot s$); $\dot{\gamma}$ = taxa de deformação (seg^{-1}); k = índice de consistência ($Pa \cdot s^n$); n = índice de comportamento; τ_0 = tensão residual (Pa); η_B = viscosidade plástica ($Pa \cdot s$).

4.13 Análise de textura

Os atributos de firmeza, consistência e coesividade das amostras de mucilagem de chia foram obtidos utilizando um texturômetro TA-XT2 (Stable Micro Systems), equipado com o spindle de compressão e um recipiente acrílico. O resultado foi obtido pelo software Exponent (516 dias após irradiação, n= 3).

4.14 Determinação da capacidade emulsificante

Para os testes de capacidade emulsificante (Item 4.14) e estabilidade de emulsão (Item 4.15), foram elaboradas emulsões segundo Tavares (2016), com modificações, contendo 12,5 g de mucilagem de chia e 1,25 g óleo de soja comercial. As amostras foram agitadas magneticamente por 5 min e homogeneizadas em mixer convencional por 1 min.

Após a preparação das emulsões a capacidade de emulsão foi determinada segundo Tavares (2016), segundo equação 4 (517 dias após irradiação, n= 2).

Equação 4:

$$\text{Capacidade de emulsão \%} = \frac{\text{Volume de emulsão}}{\text{Volume total de fluido}} \times 100$$

Onde: o volume de emulsão é o volume após a agitação magnética e homogeneização, e o volume total do fluido é o volume após o óleo de soja e a mucilagem serem pesados juntos.

4.15 Determinação da estabilidade da emulsão

As emulsões preparadas foram armazenadas por 30 min em estufa a 25 ± 1 °C e posteriormente centrifugadas a 1300 x g, por 10 min a 25 ± 1 °C, segundo Tavares (2016). Os valores de estabilidade de emulsão foram expressos através da equação 5 (517 dias após irradiação, n= 2).

Equação 5:

$$\text{Estabilidade de emulsão \%} = \frac{\text{Volume da emulsão final}}{\text{Volume total de fluido}} \times 100$$

Onde: o volume da emulsão final é o volume após a desestabilização na centrífuga, e o volume total do fluido é o volume após o óleo de soja e a mucilagem serem pesados juntos.

4.16 Análise estatística

A análise estatística dos resultados foi realizada através do software GraphPad Prism 8, e foram aplicados os testes ANOVA seguido de Teste Turkey com significância de $p > 0,05$.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Composição Centesimal e Atividade de água

Na análise da composição centesimal, os atributos umidade, cinzas e proteínas não apresentaram diferenças significativas em função das doses de radiação aplicadas (TAB 6). A determinação de minerais foi realizada apenas na dose de 0 kGy, devido não haver alteração no conteúdo de cinzas das demais doses em relação ao grupo controle. Os resultados obtidos em amostras do grupo controle estão de acordo com a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TBCA).

TABELA 6 – Composição centesimal de sementes de chia irradiadas sob diferentes doses

Componente (g/100g)	0 kGy	5 kGy	10 kGy	20 kGy
Umidade	9,06 ± 0,05 ^a	9,13 ± 0,01 ^a	8,95 ± 0,01 ^a	8,79 ± 0,23 ^a
Cinzas	4,41 ± 0,01 ^a	4,14 ± 0,04 ^a	4,38 ± 0,01 ^a	4,38 ± 0,04 ^a
Proteína	19,18 ± 0,42 ^a	19,98 ± 0,25 ^a	20,37 ± 0,25 ^a	20,02 ± 0,29 ^a
Gorduras	24,20 ± 1,64 ^c	20,26 ± 0,67 ^a	22,48 ± 0,10 ^b	24,17 ± 1,28 ^c
Carboidratos	43,15 ^a	46,22 ^b	43,82 ^a	42,65 ^a
Energia (kcal/100g)	467, 12 ^c	447,14 ^a	459,08 ^b	468,17 ^c

Letras iguais na mesma linha não representam diferença significativa ($p > 0,05$).

Para os atributos gorduras totais e energia, as amostras irradiadas com 5 kGy obtiveram o menor valor dentre todas as doses, seguida pelas amostras de 10 kGy. Já o grupo controle e grupo de 20 kGy não variaram entre si e obtiveram o maior valor de gordura e energia total em comparação com as outras doses.

Semelhante resultado foi reportado por Al-Bachir (2016), no qual obteve pequena redução na porcentagem de gorduras totais em sementes de sésamo irradiadas com 9 kg armazenadas por 12 meses, em comparação com o grupo controle. Os resultados obtidos por Yalcin *et al.* (2011), onde avaliaram o efeito da radiação gama em propriedades químicas de sementes de linhaça,

corroboram com os resultados obtidos no presente trabalho. As sementes de linhaça foram irradiadas com doses de 2,5/ 4,0/ 5,5 e 7,0 kGy onde a porcentagem de óleo diminuiu significativamente, em comparação com o grupo controle, nas amostras de 5,5 kGy.

A radiação ionizante pode induzir oxidação, hidrólise, polimerização, descarboxilação e desidratação em ácidos graxos e lipídeos. No mecanismo geral de radiólise lipídica ocorre uma ionização primária, seguida pela migração da carga positiva em direção ao grupo carboxílico. A oxidação ou peroxidação lipídica induzida por radiação pode ser atenuada pela aplicação de temperaturas de congelamento no momento do processamento por radiação, e por embalagens por proteção contra a luz e oxigênio (RAVINDRAN & JAISWAL, 2019).

A determinação de carboidratos não é realizada experimentalmente, e sim pela diferença percentual de todos os outros componentes analisados (Equação 1), portanto com valores mais altos para gorduras totais, como nas amostras controle e 20 kGy, o valor de carboidratos seria inversamente proporcional. Entretanto, apenas a amostra de 5 kGy apresentou diferença significativa, obtendo valor mínimo em relação ao grupo controle, 10 e 20 kGy.

A determinação do valor energético total (Equação 2), também não foi realizada de forma experimental, mas calculado, levando em conta os valores obtidos para atributos de carboidratos, proteínas e lipídeos. Houve diferença significativa devido a diferença obtida experimentalmente na análise de lipídeos totais.

Os valores de atividade de água não foram alterados pela radiação nas doses aplicadas (FIG 22). Yadav *et al.* (2015) obtiveram semelhante resultado ao avaliarem o efeito da radiação gama em parâmetros germinativos e fisiológicos de dois genótipos de milho, obtiveram semelhante resultado. Não houve nenhuma alteração na atividade de água em nenhuma das amostras irradiadas (0 a 2 kGy). Liu *et al.* (2018) obtiveram resultado semelhante apenas com doses iniciais de irradiação (1 e 3 kGy) ao avaliarem o efeito da radiação gama em propriedades físico-químicas e nutricionais de amendoins de dois cultivares, onde não houve alteração do teor de atividade de água em relação com o grupo controle. Entretanto, houve aumento no teor de atividade de água em relação ao grupo controle e demais doses, quando irradiadas sob 5 e 10 kGy.

É comum não haver alteração na atividade de água dos alimentos, entretanto a radiação pode alterar a estrutura do material (como a parede celular), aumentando assim a umidade livre interna dos alimentos e alterando a atividade de água (LIAO *et al.*, 2010).

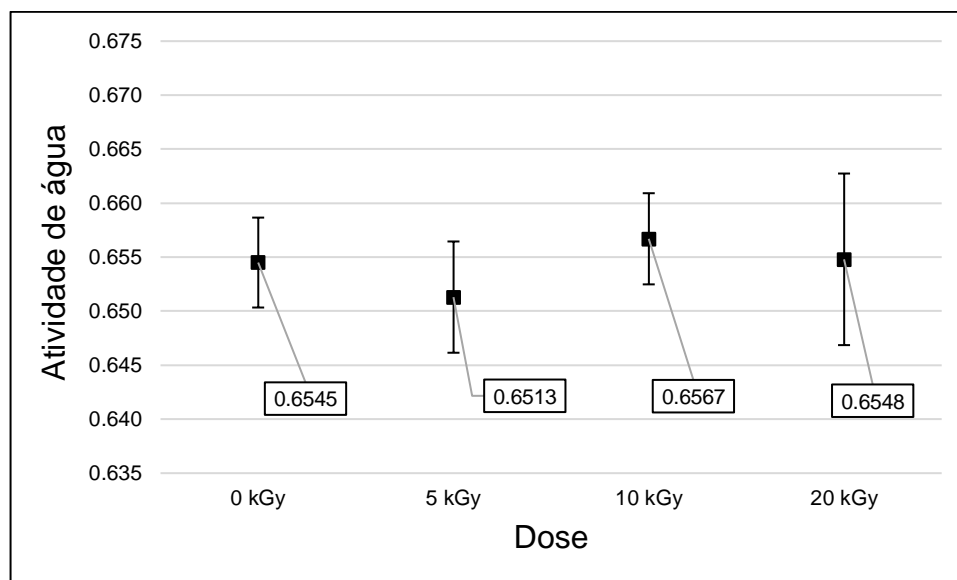


FIGURA 22 – Atividade de água de sementes de chia irradiadas.

5.2 Conteúdo de minerais por análise de ativação neutrônica

Importantes minerais estão presentes em quantidades significativas nas sementes de chia (TAB 7), como potássio, cálcio, cromo, ferro, magnésio, manganês, molibdênio e zinco, importantes minerais em quantidades relevantes para garantir grande parte do aporte de minerais necessários diariamente na dieta humana.

Os dados obtidos no presente trabalho superam ou não são coincidentes de maneira geral com aqueles descritos na *Tabela Brasileira de Composição dos Alimentos* (TBCA – USP/FORC), que descreve que a cada 100 g de sementes de chia, estão presentes 631 mg de cálcio, 407 mg de potássio, 860 mg de fósforo, 335 mg de magnésio, 4,58 mg de zinco, 0,92 mg de cobre e 55,2 µg de selênio.

TABELA 7 – Conteúdo de minerais determinados por análise por ativação neutrônica instrumental

Elemento	Radionuclídeo (energia em keV)	Concentração	Conteúdo
K	⁴² K (1524.7)	mg. 100g ⁻¹	790 ± 40
Ca	⁴⁷ Ca (1296.9)	mg. 100g ⁻¹	750 ± 50
Mg	²⁷ Mg (1014.4)	mg. 100g ⁻¹	310 ± 30
Fe	⁵⁹ Fe (1099.32)	mg. 100g ⁻¹	11,1 ± 0,6
Mn	⁵⁶ Mn (846.6)	mg. 100g ⁻¹	7,1 ± 0,4
Zn	⁶⁵ Zn (1115.5)	mg. 100g ⁻¹	6,9 ± 0,3
Ba	¹³⁹ Ba (165.85)	mg. 100g ⁻¹	6,2 ± 1,1
Cl	³⁸ Cl (1642.7)	mg. 100g ⁻¹	5,2 ± 1,1
Cu	⁶⁶ Cu (1039)	mg. 100g ⁻¹	2,5 ± 0,4
Rb	⁸⁶ Rb (1076.6)	mg. 100g ⁻¹	0,99 ± 0,05
Ti	⁵¹ Ti (320)	mg. 100g ⁻¹	0,94 ± 0,17
Br	⁸² Br (776.5)	mg. 100g ⁻¹	0,9 ± 0,07
Na	²⁴ Na (1368.53)	mg. 100g ⁻¹	0,24 ± 0,02
Mo	⁹⁹ Mo (140.51)	µg. 100g ⁻¹	39,9 ± 0,7
Co	⁶⁰ Co (1332.5)	µg. 100g ⁻¹	30,7 ± 0,9
Cr	⁵¹ Cr (320.1)	µg. 100g ⁻¹	14,4 ± 3
Se	⁷⁵ Se (264.5)	µg. 100g ⁻¹	11,6 ± 5
V	⁵² V (1434.4)	µg. 100g ⁻¹	10,4 ± 1,9
La	¹⁴⁰ La (1596.2)	µg. 100g ⁻¹	7,6 ± 0,5
As	⁷⁶ As (559)	µg. 100g ⁻¹	1,72 ± 0,35
Sc	⁴⁶ Sc (889.30)	µg. 100g ⁻¹	1,16 ± 0,06
Sb	¹²² Sb (564.08)	µg. 100g ⁻¹	ND

Conteúdo expresso em média ± desvio padrão.

O método de ativação neutrônica possui alta sensibilidade para análise de elementos traço em alimentos, trazendo precisão e segurança aos resultados. A metodologia de determinação de elementos por ativação neutrônica é reconhecida pela OMS como uma técnica capaz de detectar grande variedade de elementos e com alta precisão, entretanto necessita de um reator nuclear para que possa ser realizada (SATHLER *et al.*, 2017).

Segundo a RDC 54, *Regulamento Técnico Mercosul Sobre Informação Nutricional Complementar*, de 2012 (BRASIL – ANVISA), um alimento pode ser considerado fonte ou alto teor de um determinado mineral, se possuir mais de 15% ou 30%, respectivamente, dos valores diários de ingestão recomendados pela OMS (TAB 3), em uma porção de 100 g do alimento. De acordo com os dados do presente trabalho, é possível classificar as sementes

chia como alto teor em cálcio, magnésio, ferro, zinco, manganês, molibdênio e cromo, pois em uma porção de 100 g, possuem mais do que 30% da recomendação diária de ingestão de cada mineral. As sementes de chia também podem ser classificadas como fonte de potássio e selênio, importantes minerais para a dieta humana, que estão presentes em quantidades maiores que 15% da recomendação diária de ingestão para adultos.

Pajał *et al.* (2019) e Barreto *et al.* (2016) utilizaram espectrometria de absorção atômica e espectrometria de emissão atômica, respectivamente, para avaliarem o teor de minerais de sementes de chia e apresentaram valores em mg. 100g⁻¹ de 530 ± 38,5 a 694 ± 45 de cálcio; 1,8 ± 0,4 a 2,1 ± 0,06 de cobre; 2,12 ± 0,3 a 8,9 ± 1,9 de ferro e 4,2 ± 0,3 a 5,9 ± 0,7 de zinco, valores menores em relação aos apresentados no presente trabalho. Para sódio, os valores de 3,68 ± 0,21 a 73,4 ± 30,3 mg. 100g⁻¹ obtidos pelos autores foram maiores dos que os obtidos no presente trabalho. Para potássio, os valores apresentados no presente trabalho ficaram entre os apresentados pelos autores, de 611,6 ± 51,9 a 871 ± 45 mg. 100g⁻¹.

5.3 Fibras totais

Os valores de fibras totais não apresentaram diferenças significativas em relação à dose (FIG 23). Também não foi reportada alteração no teor de fibras por Bhatti *et al.* (2013), ao avaliarem propriedades químicas e microbiológicas de amêndoas (*Prunus dulcis* Mill.) desengorduradas irradiadas até 10 kGy. Entretanto, o oposto foi observado por Osman *et al.* (2014), ao avaliarem o efeito da radiação gama e/ou cocção em propriedades nutricionais de feijões de fava de dois cultivares diferentes. O conteúdo de fibra bruta aumentou significativamente em amostras irradiadas sob doses de 0,5 e 1 kGy de um dos cultivares avaliados.

O efeito da radiação em matriz alimentar nem sempre ocorre em função da dose, Fernandes *et al.* (2015) avaliaram o efeito da irradiação por feixe de elétrons em duas espécies de cogumelos selvagens. Apesar de observarem efeito dose x resposta nas amostras de *Macrolepiota procera*, em doses de 0/0,5/ 1 e 6 kGy, reduzindo o teor de fibra total, o mesmo não ocorreu em amostras

de *Boletus edulis*, onde, o efeito da radiação não surtiu o mesmo efeito. As amostras irradiadas sob 2 e 6 kGy obtiveram aumento significativo em relação ao grupo controle e a dose de 10 kGy. Entretanto a dose de 10 kGy, obteve o menor valor de fibras totais dentre todas as doses, abaixo inclusive do grupo controle.

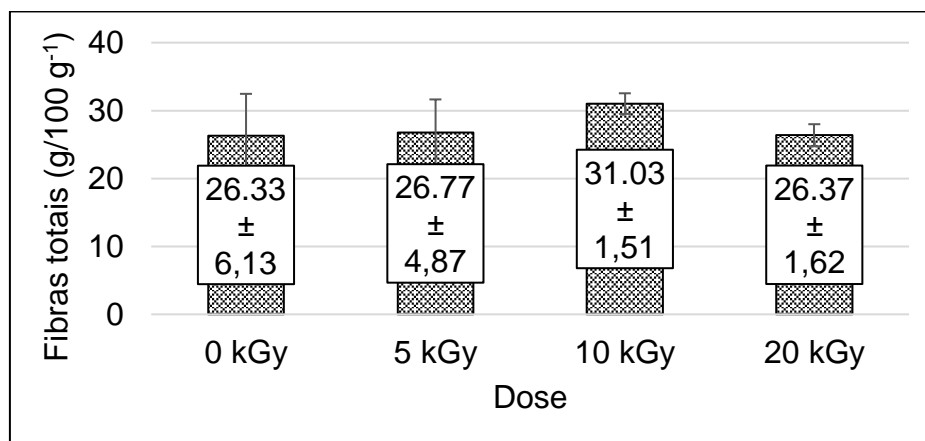


FIGURA 23 – Conteúdo de fibras totais em sementes de chia irradiadas

5.4 Compostos fenólicos totais

O solvente de extração escolhido para a determinação de compostos fenólicos foi etanol 70% de acordo com os resultados obtidos por CHIERENTIN *et al.* (2019). O conteúdo de fenóis foi quantificado através da curva padrão de ácido gálico com concentrações de 100 a 750 µg/mL (FIG 24).

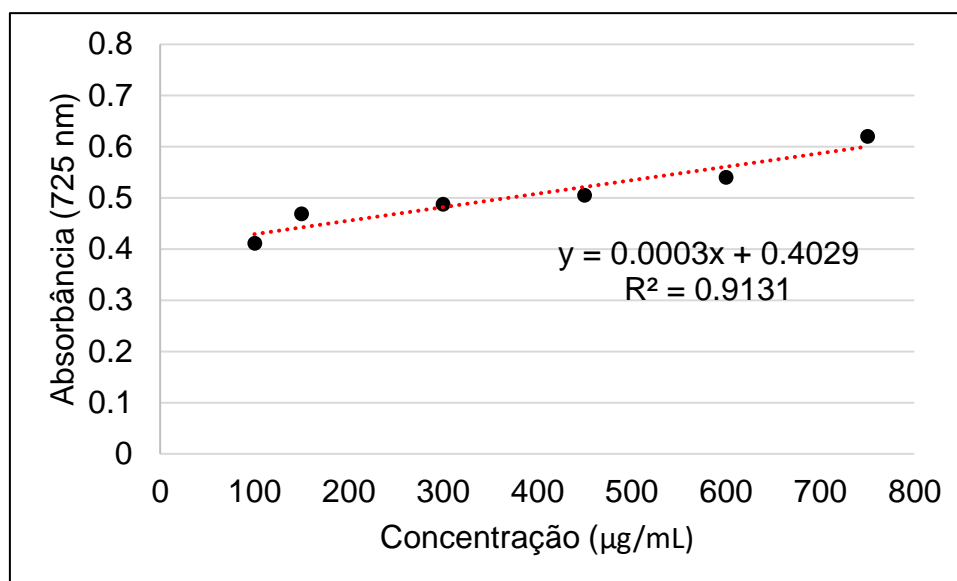


FIGURA 24 – Curva de calibração com ácido gálico

Apenas na dose de 10 kGy, houve discreto aumento no conteúdo de compostos fenólicos em relação ao grupo controle (FIG 25), mas nenhuma diferença estatística foi observada na comparação entre doses.

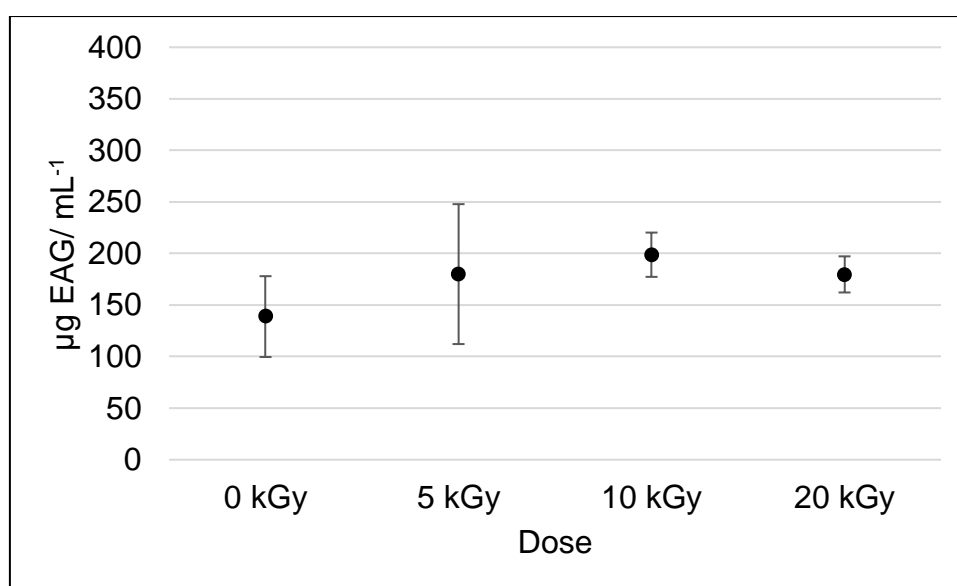


FIGURA 25 – Compostos fenólicos totais de extratos de sementes de chia irradiadas

Semelhante resultado foi obtido por Abdelaleem & Elbassiony (2021) ao avaliarem o efeito da radiação gama em propriedades antioxidantes de

quinoa. Houve aumento na concentração de compostos fenólicos totais na dose de 3 kGy, seguida pela dose de 6 kGy, em comparação com o grupo controle.

Carocho *et al.* (2019) ao irradiarem castanha portuguesa tanto sob feixe de elétrons, quanto sob radiação gama, em doses de 0,5/ 1 e 3 kGy, obtiveram um aumento significativo na quantidade de compostos fenólicos em relação ao grupo controle sob os dois tipos de irradiação.

Verma *et al.* (2016) irradiaram feijões-moyashi, sob diferentes doses, teores de umidades e de diferentes cultivares. Doses de 1 kGy (12 % de umidade); 2,5 kGy (12 % de umidade); 5 kGy (10 % de umidade), obtiveram aumento na quantidade de compostos fenólicos totais em todas as variações de cultivares.

O efeito da radiação gama no conteúdo de compostos fenólicos, atividade antioxidante e propriedades físico-químicas de grãos de arroz branco, vermelho e negro foi avaliado por Shao *et al.* (2013). As amostras apresentaram aumento discreto em baixas doses de irradiação (2, 4 e 6 kGy), entretanto, aumento expressivo em doses mais altas (8 e 10 kGy) para os três tipos de arroz.

O mecanismo que explica os aumentos de compostos fenólicos totais é a liberação de compostos fenólicos de glicosídeos e a quebra de moléculas de compostos fenólicos maiores em outras menores devido ao estresse oxidativo induzido por irradiação (FARKHAD & HOSSEINI, 2020). Fanaro *et al.* (2015) demonstraram este mecanismo ao irradiarem chá verde sob diferentes índices de atividade de água. Em amostras de 10 kGy com alta atividade de água, houve aumento no conteúdo de ácido gálico, enquanto houve diminuição de epicatequinas-galato, o que indica um possível efeito da degradação das epicatequinas-galato em epicatequina e ácido gálico, induzido pelas radicais formados na radiólise da água, já que estes resultados foram obtidos apenas em índices elevados de atividade de água.

5.5 Potencial antioxidante pela redução de radicais DPPH

Para a análise de atividade antioxidante pelo poder de redução do radical DPPH, foi preparada uma curva padrão de Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-

tetramethylchroman-2-carboxylic acid) que é um antioxidante solúvel em água análogo a vitamina E, com concentrações de 100 a 1000 μM (FIG 26).

Assim como nos resultados observados na quantificação dos compostos fenólicos, houve diferença estatística apenas entre as amostras irradiadas com 10 kGy que apresentaram um sutil aumento da capacidade antioxidante em relação ao grupo controle, de acordo com a análise de variância e teste Turkey, embora não seja uma diferença visualmente expressiva conforme mostrado na FIG 27. Nenhuma outra diferença estatística foi observada na comparação entre doses.

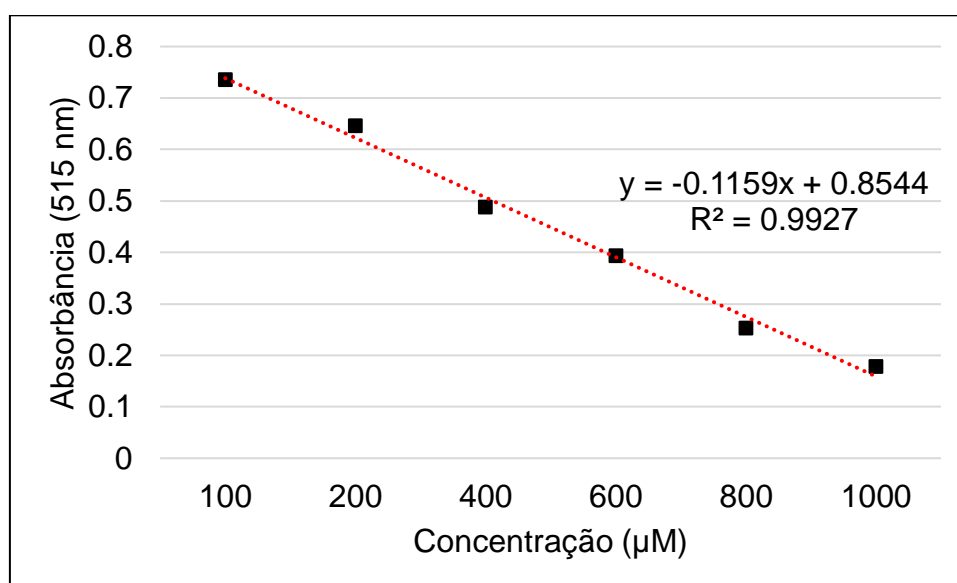


FIGURA 26 – Curva de calibração com Trolox.

Abdelaleem & Elbassiony (2021) avaliaram a porcentagem de inibição do reagente DPPH sementes de quinoa pelo IC_{50} , que consiste na concentração de amostra necessária para inibir 50 % de uma determinada concentração de radical. A dose de 3 kGy obteve o menor IC_{50} em comparação a dose controle e a dose 6 kGy, no qual obteve maior valor IC_{50} dentre todas as doses avaliadas.

Kumar *et al.* (2017) avaliaram o efeito da radiação gama em propriedades estruturais do grânulo e propriedades antioxidantes de amido de arroz castanho irradiado. A porcentagem de inibição do reagente DPPH do grupo controle foi de 19%, no qual houve aumento para 23, 26 e 28% para doses de 5, 10 e 15 kGy respectivamente. Entretanto, na dose de 20 kGy houve diminuição

para 26,55 %, sobretudo, ainda sim, significativamente maior do que o grupo controle.

Hussain *et al.* (2014) avaliaram o efeito da radiação gama em propriedades físico-químicas, morfológicas e antioxidantes em polissacarídeos de feijões. Os resultados indicaram um efeito sinérgico da radiação na porcentagem de inibição do reagente DPPH. Houve aumento em todas as doses (0, 5, 10, 15, 20 e 25 kGy) de todas as variações de feijões (vermelho, branco, preto e amarelo).

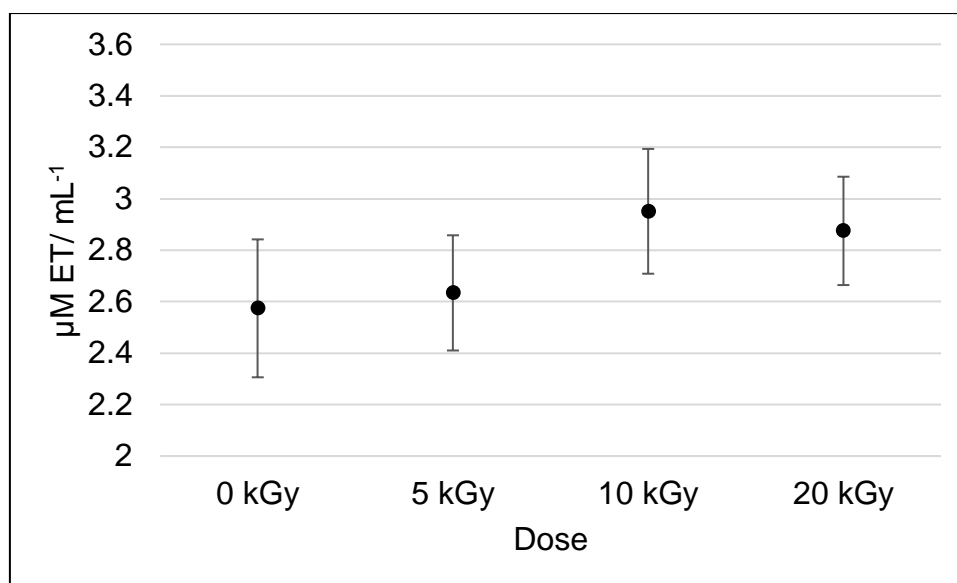


FIGURA 27 – Atividade antioxidante de extratos de sementes de chia irradiadas

O aumento da atividade antioxidante pode estar relacionado ao aumento do conteúdo de compostos gerados pela irradiação. Entretanto, podem existir disparidades de resultados, devido a diversos fatores como: variação do tipo da amostra, método utilizado, solvente e condições de extração, tempo pós irradiação até a data da análise, temperatura, presença de oxigênio e doses de irradiação (FARKHAD & HOSSEINI, 2020).

5.6 Reologia da mucilagem de chia

O processo de extração da mucilagem foi realizado com sucesso. A separação ocorreu após a centrifugação e pipetagem da mucilagem concentrada na porção central do tubo como ilustrado na FIG 20.

Todas as amostras de mucilagem de chia obtidas de sementes irradiadas apresentaram a tendência de diminuição da viscosidade aparente com o aumento da taxa de cisalhamento, comportamento característico de fluido não newtoniano, pseudoplástico (FIG 28).

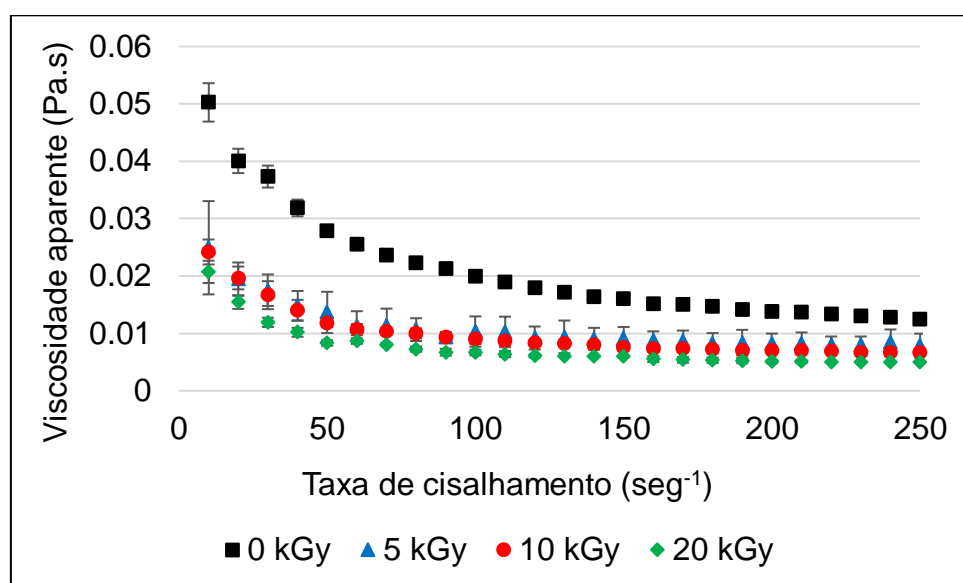


FIGURA 28 – Viscosidade aparente de mucilagem extraída de sementes de chia irradiadas

As amostras do grupo controle apresentaram viscosidade aparente significativamente maior em relação as amostras que foram irradiadas. Esta diferença se tornou mais acentuada nos valores iniciais de tensão de cisalhamento.

Ren *et al.* (2018) também mostrou redução de viscosidade aparente em função do aumento da dose de irradiação. Ao estudarem o efeito da radiação gama em propriedades estruturais, físico-químicas e imunomodulatórias de polissacarídeos de *Astragalus membranaceus* (planta usada na medicina

tradicional chinesa), obtiveram diminuição da viscosidade entre doses de 10 a 150 kGy e em comparação ao grupo controle.

Resultados similares também foram obtidos por Atrous *et al.* (2015), ao avaliarem o efeito da radiação gama em propriedades de amido, constataram redução da viscosidade em função do aumento da dose de irradiação até 10 kGy.

A diminuição da viscosidade em função da dose de irradiação pode ser atribuída a redução do peso molecular dos polissacarídeos, produzindo unidades polissacarídicas menores após a exposição ao processo de irradiação, o que resulta em maior mobilidade dos polissacarídeos, diminuindo a resistência ao escoamento do fluido (REN *et al.*, 2018).

A tensão de cisalhamento é mostrada na FIG 29, no qual também se observa semelhante tendência de comportamento nas amostras. A amostra de 0 kGy obteve valores de tensão de cisalhamento significativamente maiores em relação as demais doses. É possível verificar que as amostras apresentaram uma relação não linear entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação, o que caracteriza o fluido como não newtoniano. Também é possível observar que esta relação não linear forma uma curva convexa, característica de fluidos pseudoplásticos, conforme mostrado na FIG 13.

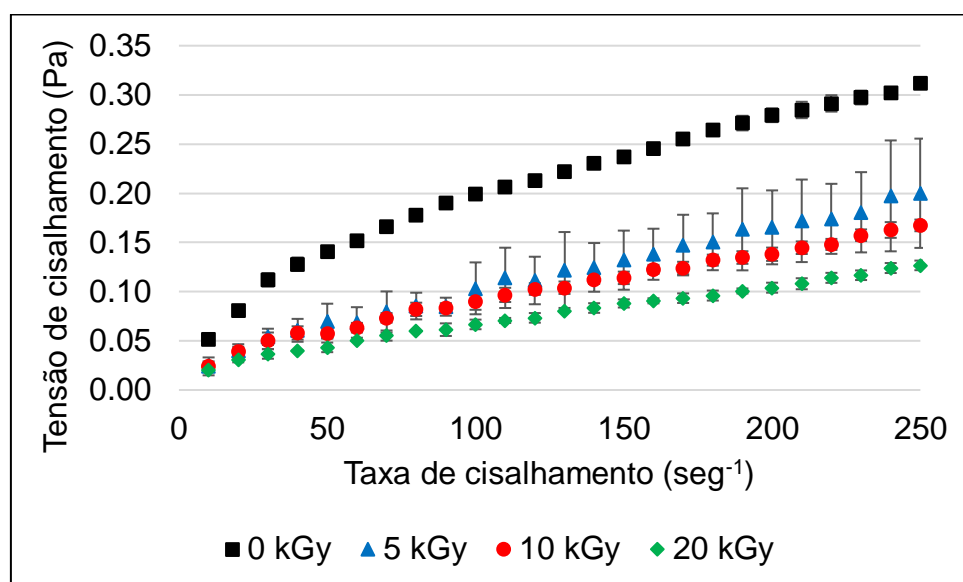


FIGURA 29 – Tensão de cisalhamento de mucilagem extraída de sementes de chia irradiadas

De acordo com os modelos de ajustes reológicos (TAB 5), é possível caracterizar a mucilagem de chia como fluido pseudoplástico, de acordo com a TAB 8. Os baixos valores de R^2 obtidos no ajuste do modelo Newtoniano, desconsideraram a possibilidade de tal classificação. Altos valores de R^2 foram obtidos para os ajustes dos modelos Lei da Potência; Bingham e Herschel-Bulkley, entretanto, devido ao índice de comportamento do fluxo (n) ser $\neq 1$, como já mostrado a tendência não linear na FIG 29, também é descartada a possibilidade da adequação com o modelo de Bingham.

Apesar do alto valor de R^2 nos valores de Herschel-Bulkley, nota-se que o valor de tensão residual (τ_0) da amostra de 0 kGy foi = 0, portanto obtendo o melhor ajuste para Lei da Potência para amostras não irradiadas. Os valores de tensão residual (τ_0) das demais doses foram sutilmente > 0 , entretanto, obtêm também ajuste para Herschel-Bulkley, além de Lei da Potência.

TABELA 8 – Ajustes de modelo reológico

Modelo	Parâmetro	Dose			
		0 kGy	5 kGy	10 kGy	20 kGy
Newtoniano	η (Pa · s)	0,0015	0,0009	0,0007	0,0006
	R^2	0,5970	0,9048	0,8343	0,8449
Lei da Potência	k (Pa · s)	0,0171	0,0056	0,0064	0,0052
	n	0,5282	0,6349	0,5802	0,5628
	R^2	0,9929	0,9892	0,9920	0,9893
Plástico de Bingham	τ_0 (Pa)	0,0877	0,0299	0,0322	0,0238
	η_B (Pa · s)	0,0010	0,0007	0,0005	0,0004
	R^2	0,9603	0,9914	0,9900	0,9946
Herschel-Bulkley	τ_0 (Pa)	0,0000	0,0196	0,0162	0,0163
	k (Pa · s)	0,0194	0,0015	0,0022	0,0010
	n	0,5017	0,8582	0,7586	0,8359
	R^2	0,9978	0,9933	0,9957	0,9972

Onde: τ = tensão de cisalhamento (Pa); μ = viscosidade (Pa · s); $\dot{\gamma}$ = taxa de deformação (seg^{-1}); k = índice de consistência (Pa · sⁿ); n = índice de comportamento; τ_0 = tensão residual (Pa); η_B = viscosidade plástica (Pa · s); R^2 = coeficiente de correlação.

Semelhante resultado foi reportado por Antigo *et al.* (2020), onde também ajustaram os modelos reológicos de mucilagem de chia e cascas de psyllium. Ao ajustarem nos modelos Lei da Potência, Bingham, Casson e Herschel-Bulkley, concluíram também, que tanto o modelo Lei da Potência e Herschel-Bulkley poderiam descrever o comportamento dos fluidos avaliados.

O modelo de Herschel-Bulkley, conta com mais parâmetros dentre os modelos apresentados e pode ser considerado o mais abrangente. O modelo de Herschel-Bulkley representa, inclusive, fluidos com comportamento pseudoplástico ou dilatante, que também apresentem tensão residual (STEFFE, 1996).

5.7 Análise de Textura da mucilagem de chia

De acordo com os dados obtidos na análise realizada no texturômetro, não houve diferença estatística em função das doses de radiação aplicadas nas características tecnológicas avaliadas (TAB 9).

TABELA 9 – Propriedades tecnológicas de mucilagem extraída de sementes de chia irradiadas

Parâmetro	Dose			
	0 kGy	5 kGy	10 kGy	20 kGy
Firmeza	11,73 ± 1,88 ^a	9,86 ± 0,77 ^a	9,71 ± 0,19 ^a	10,45 ± 1,31 ^a
Consistência	11,33 ± 0,82 ^a	10,13 ± 0,32 ^a	10,04 ± 0,14 ^a	10,49 ± 1,63 ^a
Coesividade	-7,58 ± 0,42 ^a	-7,5 ± 0,44 ^a	-8,09 ± 1,09 ^a	-9,38 ± 3,20 ^a

Onde: Firmeza = força (g); Consistência = área (g.sec); Coesividade = força (g). Letras iguais na mesma linha não representam diferença significativa ($p > 0,05$).

Bashir *et al.* (2017) ao avaliarem o efeito da radiação gama em propriedades termo-reológicas de farinha de trigo, também obtiveram diminuição nos parâmetros de dureza, adesividade, coesividade, gomosidade e elasticidade em função da dose, em amostras irradiadas até 10 kGy.

Singh *et al.* (2011) avaliaram o efeito da radiação gama em propriedades morfológicas, estruturais, térmicas e reológicas de fécula de batata, observaram disparidades do efeito da radiação. O processo de irradiação

causou diminuição em propriedades de dureza, gomosidade e elasticidade em amostras dos dois cultivares avaliados. Já coesividade e adesividade aumentaram de acordo com o aumento da dose de irradiação.

Semelhante resultado de coesividade foi obtido Pan *et al.* (2020), onde não houve diferença significativa entre as doses de amostras de arroz cozido após o processo de irradiação com baixa umidade, entretanto, amostras de alta umidade obtiveram pequena diminuição apenas na dose de 4 kGy.

5.8 Capacidade emulsificante e estabilidade da emulsão da mucilagem de chia

A capacidade de emulsão é uma importante propriedade de superfície ativa das gomas que determinam sua capacidade de estabilizar a mistura de dois ou mais líquidos imiscíveis. Como pode ser observado na TAB 10, não houve diferença significativa entre as doses tanto na capacidade de formar emulsão das mucilagens, quanto na estabilidade da emulsão.

TABELA 10 – Propriedades da emulsão de mucilagem extraída de sementes de chia irradiadas

Parâmetro	Dose			
	0 kGy	5 kGy	0 kGy	20 kGy
Capacidade emulsificante (%)	84,15 ± 0,49 ^a	85,00 ± 5,05 ^a	87,80 ± 0,55 ^a	86,88 ± 0,50 ^a
Estabilidade da emulsão (%)	83,45 ± 1,49 ^a	83,93 ± 3,53 ^a	86,06 ± 0,06 ^a	85,46 ± 0,50 ^a

Letras iguais na mesma linha não representam diferença significativa ($p > 0,05$).

Hamdani *et al.* (2018) reportaram aumento significativo na capacidade e estabilidade de emulsão de gomas guar e alfarroba irradiadas de 0 a 5 kGy e atribuíram este aumento a formação de extremidades hidrofílicas, formadas pela radiação, em partes clivadas das cadeias polissacarídicas. Majeed *et al.* (2017), relataram diminuição na capacidade de emulsão de farinha de lentilha,

submetidas a sonicação e irradiação de 5 kGy, e atribuíram o resultado devido à possível diminuição na proporção de resíduos hidrofílicos expostos a hidrofóbicos. Sobretudo, no presente trabalho, a radiação não alterou as propriedades de capacidade e estabilidade de emulsão de mucilagem de sementes de chia irradiadas.

6 CONCLUSÃO

A semente de chia é considerada um superalimento com diversos benefícios para saúde, que fazem desta semente um excelente complemento nutricional, natural e econômico. Os resultados do presente trabalho mostram que o processo de irradiação aplicado em sementes de chia não causa prejuízos em relação aos importantes atributos avaliados. Também, este trabalho fornece informações fundamentais sobre a segurança nutricional da chia irradiada, importante consideração em relação a importação e exportação de produtos alimentícios, à aplicação visando aumento de vida-de-prateleira, redução de carga microbiana, utilização em formulações de produtos alimentícios, em filmes comestíveis ou biodegradáveis e estudos agronômicos. Assim sendo, este trabalho é uma contribuição na área de ciência e tecnologia dos alimentos e poderá impulsionar um maior aproveitamento de sementes de chia pela indústria de alimentos.

REFERÊNCIAS

- ABDELALEEM, M. A. & ELBASSIONY, K. R. A. Evaluation of Phytochemicals and Antioxidant Activity of Gamma Irradiated Quinoa (*Chenopodium quinoa*). ***Brazilian Journal of Biology***, v. 81, n. 3, pp. 806-813, 2021.
- AHMED, J.; PTASZEK, P.; BASU, S. Chapter 1 - Food Rheology: Scientific Development and Importance to Food Industry. ***Advances in Food Rheology and Its Applications***, p. 1-4, 2017.
- AL-BACHIR, M. Some microbial, chemical and sensorial properties of gamma irradiated sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds. ***Food Chemistry***, v. 197, p. 191-197, 2016.
- ALI, N. M.; YEAP, S. K.; HO, W. Y.; BEH, B. K.; TAN, S. W.; TAN, S. G. The promising future of chia, *Salvia hispanica* L. ***Journal of Biomedicine Biotechnology***, 2012.
- ANTIGO, J. L. D.; BERGAMASCO, R. C.; MARADONA, G. S. How drying methods can influence the characteristics of mucilage obtained from chia seed and psyllium husk. ***Ciência Rural***, v. 50, n. 8, 2020.
- AOAC INTERNATIONAL. ***Official Methods of Analysis of the AOAC International***. 17th ed., Gaithersburg, Maryland. 2002. Official Method 2001.11.
- ATIK, D. S.; DEMIRCI, T.; ÖZTÜRK, H. İ.; DEMIRCI, S.; SERT, D.; AKIN, N. Chia Seed Mucilage Versus Guar Gum: Effects on Microstructural, Textural, and Antioxidative Properties of Set-Type Yoghurts. ***Brazilian Archives of Biology and Technology***, v. 63, 2020.
- ATROUS, H.; BENBETTAIEB, N.; HOSNI, F.; DANTHINE, S.; BLECKER, C.; ATTIA, H.; GHORBEL. Effect of γ -radiation on free radicals formation, structural changes and functional properties of wheat starch. ***International Journal of Biological Macromolecules***, v. 80, p. 64-76, 2015.

AYERZA, R. H. & COATES, W. **Chía: Redescubriendo un olvidado alimento de los aztecas**. Buenos Aires: Nuevo Extremo, 2006.

AYERZA, R. H. & COATES, W. Omega-3 enriched eggs: the influence of dietary α -linolenic fatty acid source on egg production and composition, **Canadian Journal of Animal Science**, v. 81, n. 3, p. 355–362, 2000.

BANG, H.; DYERBERG, J.; SINCLAIR, H. The composition of the Eskimo food north western Greenland. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 33, p. 2657-2661, 1980.

BARRETO, A. D.; GUTIERREZ, E. M. R.; SILVA, M. R.; SILVA, F. O.; SILVA, N. O. C.; LACERDA, I. C. A.; LABANCA, R. A.; ARAÚJO, R. L. B. Characterization and Bioaccessibility of Minerals in Seeds of *Salvia hispanica* L. **American Journal of Plant Sciences**, v. 7, p. 2323-2337, 2016.

BASHIR, K.; JAN, K.; AGGARWAL, M. Thermo-rheological and functional properties of gamma-irradiated wholewheat flour. **International Journal of Food Science and Technology**, v 52, p. 927-935, 2017.

BHATTI, I. A.; IQBAL, M.; ANWAR, F.; SHAHID, S. A.; SHAHID, M. Quality characteristics and microbiological safety evaluation of oils extracte from gamma irradiated almond (*Prunus dulcis* Mill.) seeds. **Grasas y aceites**, v. 64, n. 1, p. 68-76, 2013.

BOMFIN, N. S. & KANASHIRO, A. D. S. Propriedades nutricionais da *Salvia hispanica* L. E seus benefícios para a saúde humana. **Unoesc & Ciência – ACBS**, v. 7, n. 2, p. 199-206, 2016.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária -ANVISA. **Resolução - RDC nº 54, Regulamento Técnico Mercosul Sobre Informação Nutricional Complementar**, de 12 de novembro, 2012.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. **Resolução RDC nº 21**, de 26 de janeiro de 2001.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. **Resolução - RDC nº 360**, de 23 de dezembro, 2003.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. **Resolução - RDC Nº 269, Regulamento Técnico sobre a Ingestão Diária Recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais**, de 22 de setembro de 2005.

BRODKEY, R. S. **The phenomena of fluid motions**. New York: Dover Publications, 1967.

BRÜTSCH, L.; STRINGER, F. J.; KUSTER, S.; WINDHAB, E. J.; FISCHER, P. Chia seed mucilage – a vegan thickener: isolation, tailoring viscoelasticity and rehydration. **Food & Function**, v.10, p. 4854-4860, 2019.

BUSILACCHI, H.; QUIROGA, M.; BUENO, M.; DI SAPIO, O.; FLORES, V.; SEVERIN, C. Evaluación de *Salvia hispânica* L. cultivada em El sur de Santa Fé (República Argentina). **Cultivos Tropicales**, v. 34, p. 55-59, 2013.

CAHILL, J. P. Ethnobotany of Chia, *Salvia hispanica* L. (Lamiaceae). **Economic Botany**, v. 57, n. 4, p. 604-618, 2003.

CÂMARA, A. K. F. I.; OKURO, P. K.; CUNHA, R. L.; HERRERO, A. M.; RUIZ-CAPILLAS, C.; POLLONIO, M. A. R. Chia (*Salvia hispanica* L.) mucilage as a new fat substitute in emulsified meat products: Technological, physicochemical, and rheological characterization. **LWT – Food Science and Technology**, v. 125, 2020.

CAMPOS, B. D.; RUIVO, T. D.; SCAPIM, R. S.; MADRONA, S. G.; BERGAMASCO, R. C. Optimization of the mucilage extraction process from chia seed and application in ice cream as a stabilizer and emulsifier. **LWT – Food Science and Technology**, v. 65, p. 874-883, 2016.

CAPELLI, A. **Influência da faixa de taxas de deformação na precisão de caracterizações reológicas de fluidos**. 2012. 85 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Instituto de Biociências, Letras e Ciências

Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, Brasil.

CAROCHO, M.; ANTONIO, A. L.; BARROS, L.; BENTO, A.; BOTELHO, M. L.; KALUSKA, I.; FERREIRA, I. C. F. R. Comparative effects of gamma and electron beam irradiation on the antioxidant potential of Portuguese chestnuts (*Castanea sativa* Mill.). **Food and Chemical Toxicology**, v. 5-, 3452-3455, 2012.

CHHABRA, R. P.; RICHARDSON, J. F. **Non-Newtonian Flow and Applied Rheology: Engineering Applications**. 2nd ed. Hungary: Ed. Butterworth Heinemann, 2008.

CHIERENTIN, G. S.; TEIXEIRA, B. S.; DEL MASTRO, N. L. Total phenolic compounds of irradiated chia seeds. In: International Nuclear Atlantic Conference – INAC 2019, Oct. 21-25, 2019, Santos, Brazil. **Proceedings...**

COELHO, M. S. & SALLAS-MELLADO, M. M. Revisão: Composição química, propriedades funcionais e aplicações tecnológicas da semente de chia (*Salvia hispanica* L) em alimentos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, n. 4, p. 259-268, 2014.

de FALCO, B.; AMATO, M.; LANZOTTI, V. Chia seeds products: an overview. **Phytochemistry Reviews**, v. 16, p. 745-760, 2017.

DIAS, M. T. G. **A New Approach to the Bus Driver Scheduling Problem using Multiobjective Genetic Algorithms**. 2005, 351 p. Tese (Doutorado em Ciências de Engenharia) – Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto, Porto, Portugal.

DICK, M.; COSTA, T. M. H.; GOMAA, A.; SUIRADE, M.; RIOS, A. O.; FLÔRES, S. H. Edible film production from chia seed mucilage: Effect of glycerol concentration on its physicochemical and mechanical properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 130, p. 198-205, 2015.

DYERBERG, J.; BANG, O. H.; HJORNE, H. Fatty acid composition of the plasma lipids in Greenland Skimos. *The American Journal Of Clinical Nutrition*, v. 28, p. 958-966, 1975.

ENES, B. N.; MOREIRA, L. P. D.; TOLEDO, R. C. L.; MORAES, É. A.; MOREIRA, M. E. C.; HERMSDORFF, H. H. M.; NORATTO, G.; MERTENS-TALCOTT, S. U.; TALCOTT, S.; MARTINO, H. S. D. Effect of different fractions of chia (*Salvia hispanica* L.) on glucose metabolism, in vivo and in vitro. *Journal of Functional Foods*, v. 71, 2020.

FANARO, G. B.; HASSIMOTTO, N. M. A.; BASTOS, D. H. M.; VILLAVICENCIO A. L. C. H. Effects of γ -radiation on microbial load and antioxidant proprieties in green tea irradiated with different water activities. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 107, pp. 40-46, 2015.

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

FARKHAD, S. A. & HOSSEINI, A. Effect of gamma irradiation on antioxidant potential, isoflavone aglycone and phytochemical content of soybean (*Glycine max* L. Merrill) cultivar Williams. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v. 324, p. 497-505, 2020.

FELICIANO, C. P. High-dose irradiated food: Current progress, applications, and prospects. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 144, p. 34–36, 2018.

FELISBERTO, M. H. F.; WAHANIK, A. L.; GOMES-RUFFI, C. R.; CLERICI, M. T. P. S.; CHANG, Y. K. Use of chia (*Salvia hispanica* L.) mucilage gel to reduce fat in pound cakes. *LWT – Food Science and Technology*, v. 63, p. 1049-1055, 2015.

FERNANDES, A.; BARREIRA, J. C. M.; ANTONIO, A. L.; MORALES, P.; FÉRNANDEZ-RUIZ, V.; MARTINS, A.; OLIVEIRA, M. B. P. P.; FERREIRA, I. C. F. R. Exquisite wild mushrooms as a source of dietaryfiber: Analysis inelectron-beam irradiated samples. *LWT - Food Science and Technology*, v. 60, p. 855-859, 2015.

FOOD INGREDIENTS BRASIL. Dossiê especial: fibras. São Paulo: **Insumos**, n. 30, p. 40-70, 2014.

GUTIÉRREZ, T. R.; RAMIREZ V. L. M.; VEJA, L. S.; FONTECHA, J.; RODRÍGUEZ M .L.; ESCOBAR, M. A. Contenido de ácidos grasos em semillas de chía cultivada en cuatro estados de México. **Revista Cubana de Plantas Medicinales**, v. 19, p. 199-207, 2014.

HAMDANI, A. M.; WANI, I. A.; BHAT, N. A. Effect of gamma irradiation on the physicochemical and structural properties of plant seed gums. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 106, p. 507-515, 2018.

HRNČIČ, M. K.; IVANOVSKI, M.; CÖR, D.; KNEZ, Ž. Chia Seeds (*Salvia hispanica* L.): An Overview—Phytochemical Profile, Isolation Methods, and Application. **Molecules**, v. 25, n. 11, p. 1-20, 2020.

HUSSAIN, P. R.; WANI, I. A.; SURADKAR, P. P.; DAR, M. A. Gamma irradiation induced modification of bean polysaccharides: Impact on physicochemical, morphological and antioxidant properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 110, p. 183-194, 2014.

INAMURA, P. Y.; UEHARA, V. B.; TEIXEIRA, C. A.; MASTRO, N. L. d. Mediate gamma radiation effects on some packaged food items. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 81, n. 8, p. 1144-1146, 2012.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (SÃO PAULO). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**, v. 4, 2008.

JIMÉNEZ, F. E. G. **Caracterización de compuestos fenólicos presente en la semilla y aceite de chía (*Salvia hispanica* L.), mediate electroforesis capilar**. 2010. 101 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Alimentos) - Instituto Politécnico Nacional Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Cidade do México.

JIN, F.; NIEMAN, D. C.; SHA, W.; XIE, G.; QIU, Y.; JIA, W. Supplementation of Milled Chia Seeds Increases Plasma ALA and EPA in Postmenopausal Women. ***Plasts Food for Human Nutrition***, v. 67, n. 2, p. 105-110, 2012.

JOYNER, H. S. & DAUBERT, C. R. Rheological Principles for Food Analysis. In: NIELSEN, S. S. ***Food Analysis***, Cham: Springer 2017. p. 511-527.

KUMAR, P.; PRAKASH, K. S.; JAN, K.; SWER, T. L.; JAN, S.; VERMA, R.; DEEPIKA, K.; DAR, M. Z.; VERMA, K.; BASHIR, K. Effects of gamma irradiation on starch granule structure and physicochemical properties of brown rice starch. ***Journal of Cereal Science***, v. 77, p. 194-200, 2017.

LIAO, W.; WANG, J.; YU, Y.; FU, J. Effect of ⁶⁰Co γ -irradiation pre-treatment on drying characters of carrot. ***Transcriptions of The Chinese Society for Agricultural Machinery***, v. 41, n. 6, p. 123-127, 2010.

LICHTENSTEIN, A. H.; APPEL, L. J.; BRANDS, M.; CARNETHON, M.; DANIELS, S.; FRANCH, H. A.; FRANKLIN, B.; KRIS-ETHERTON, P.; HARRIS, W. S.; HOWARD, B.; KARANJA, N.; LEFEVRE, M.; RUDEL, L.; SACKS, F.; VAN HORN, L.; WINSTON, M.; WYLIE-ROSETT, J. Diet and Lifestyle Recommendations Revision 2006: A Scientific Statement From the American Heart Association Nutrition Committee. ***Circulation***, v. 114, p. 82-96, 2006.

LIMA, R. K. & CARDOSO, M. G. Família Lamiaceae: Importantes Óleos Essenciais com Ação Biológica e Antioxidante. ***Revista Fitos***, v. 3, n. 3, p. 14-24, 2007.

LIU, K.; LIU, Y.; CHEN, F. Effect of gamma irradiation on the physicochemical properties and nutrient contents of peanut. ***LWT - Food Science and Technology***, v. 96, p. 535-542, 2018.

LLOYD, R. W.; DONDE, M.; PALMA, F. Aceite de chía (*Salvia hispanica*). ***Boletín del Instituto de Química de la UNAM***, v.2, p. 51-56, 1946.

LOAHARANU, P. International Developments in Food Irradiation. In: Joint FAO / IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture, Oct. 27-29, 1997, Vienna, Austria. **Proceedings...**

MAHAN, L. K.; ESCOTT-STUMP, S.; RAYMOND, J. L. **Krause: Alimentos, Nutrição e Dietoterapia**. 13 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

MAJEED, T.; WANI, I. A.; HUSSAIN, P. R. Effect of dual modification of sonication and γ -irradiation on physicochemical and functional properties of lentil (*Lens culinaris* L.) starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 101, p. 358-365, 2017.

MARINELI, R. S.; MORAES, É. A.; LENQUISTE, S. A.; GODOY, A. D.; EBERLIN, M. N.; MARÓSTICA Jr, M. R. Chemical characterization and antioxidant potential of Chilean chia seeds and oil (*Salvia hispanica* L.). **LWT – Food Science and Technology**, v. 59, p. 1304-1310, 2014.

MARTÍNEZ-CRUZ, O. & PAREDES-LÓPEZ, O. Phytochemical profile and nutraceutical potential of chia seeds (*Salvia hispanica* L.) by ultra-high-performance liquid chromatography. **Journal of Chromatography A**, v. 1346, p. 43-48, 2014.

MASLO, S & ŠARIĆ, Š. *Salvia hispanica* L. (Lamiaceae), a new alien species in the flora of Bosnia and Herzegovina and the Balkans. **Thaiszia Journal of Botany**, v. 1, p. 31-36, 2020.

MASTRO, N. L. d. A radiação ionizante na promoção da alimentação adequada e saudável. **Vigilância Sanitária em Debate**, v. 3, n. 2, 2015.

MASTRO, N.L.d. Development of Food Irradiation in Brazil. **Progress in Nuclear Energy**, v. 35, n. 3-4, p. 229-248, 1999.

MASTRO, N.L.d. Role of irradiation in the food industry. **International Journal of Nuclear Governance, Economy and Ecology**, v. 3, p. 266-27, 2011.

MELO-RUIZ, V.; SCHETTINO-BERMÚDEZ, B.; RODRIGUEZ-DIEGO, J.; DIAZ-GARCIA, R.; CALVO-CARRILLO, C.; GAZGA-URIESTE, C. Chia Seeds (*Salvia*

hispanica L) Wild Plant Rich in Nutrients. ***Politics and the Life Sciences***, v. 10, p. 221-227, 2016.

MIGLIAVACCA, R. A.; SILVA, T. R. B.; VASCONCELOS, A. L. S.; FILHO, W. M.; BAPTISTELLA, J. L. C. O cultivo da chia no Brasil: futuro e perspectivas. ***Journal of Agronomic Sciences***, v. 3, p. 161-179, 2014.

MIGLIAVACCA, R. A.; VASCONSELOS, A. L. S.; SANTOS, C. L.; BAPTISTELLA, J. L. C. Uso da cultura da chia como opção de rotação no Sistema Plantio Direto. In: Encontro Nacional de Plantio Direto na Palha, 14., 12-14 de ago. 2014. Bonito, MS. ***Resumos...***

MONDANEZ, L. ***Aceitação de alimentos irradiados: uma questão de educação***. 2012. 104 p. Tese (Doutorado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear – Aplicações) - Instituto De Pesquisas Energéticas E Nucleares - Autarquia associada à Universidade de São Paulo, São Paulo.

MUÑOZ, L. A.; COBOS, A.; DIAZ, O.; AGUILERA, J. M. Chia seeds: Microstructure, mucilage extraction and hydration. ***Journal of Food Engineering***, v. 108, p. 216-224, 2012.

NASCIMENTO, C. R. Reologia e reometria aplicada ao estudo de polpas minerais. ***Série Rochas e Minerais***, v. 12, 2008.

NIH – NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH. Food and Nutrition Board, National Academies. ***Dietary Reference Intakes (DRIs): Recommended Dietary Allowances and Adequate Intakes, Elements***. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK545442/table/appJ_tab3/?report=objectonly>. Acesso em 05 abr. 2021.

NISHIHIRA, J. Chapter 12 - Safety of irradiated food. ***Genetically Modified and Irradiated Food***, p. 259-267, 2020.

NORTH, H. M.; BERGER, A.; SAEZ-AGUAYO, S.; RALET, M. C. Understanding polysaccharide production and properties using seed coat mutants: future

perspectives for the exploitation of natural variants. *Annals of botany*, v. 114, 2014.

OKUNO, E.; YOSHIMURA, E. M. *Física das Radiações*. 1 ed, São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

OSMAN, A. M. A.; HASSAN, A. B.; OSMAN, G. A. M.; MOHAMMED, N.; RUSHID, M. A. H.; DIAB, E. E.; BABIKER, E. E. Effects of gamma irradiation and/or cooking on nutritional quality of faba bean (*Vicia faba* L.) cultivars seeds. *Journal of Food Science and Thecnology*, v. 51, n. 8, p. 1554-1560, 2014.

PADOVANI, R. M.; AMAYA-FARFÁN, J.; COLUGNATI, F. A. B.; DOMENE, S. M. A. Dietary Reference Intakes: aplicabilidade das tabelas em estudos nutricionais. *Revista de Nutrição*, v. 19, n. 6, p. 741-760, 2006.

PAJAŁ, P.; SOCHA, R.; BRONIEK, J.; KRÓLIKOWSKA, K.; FORTUNA, T. Antioxidant properties, phenolic and mineral composition of germinated chia, golden flax, evening primrose, phacelia and fenugreek. *Food Chemistry*, v. 275, p. 69-76, 2019.

PAN, L.; XING, J.; LUO, X.; LI, Y.; SUN, D.; ZHAI, Y.; YAN, K.; CHEN, Z. Influence of Electron Beam Irradiation on the Moisture and Properties of Freshly Harvested and Sun-Dried Rice. *Foods*, v. 9, 2020.

PAPER, D. European-Asian network improves nutrition via high quality plant extracts. *Tech Monitor*, v. 3, p. 32-35, 2012.

PEDRESCHI, F. & MARIOTTI-CELIS, M. S. Chapter 10 - Irradiation kills microbes: Can it do anything harmful to the food? *Genetically Modified and Irradiated Food*, p. 233-242, 2020.

PETTO, J.; SANTOS, A. C. N.; MOTTA, M. T.; FILHO, R. S. T.; ESPÍRITO-SANTO, D. G. C.; RIBAS, J. L. L.; LADEIA, A. M. T. Adiponectina: Caracterização, Ação Metabólica e Cardiovascular. *Internacional Journal of Cardiovascular Sciences*, v. 28, n. 5, p. 424-432, 2015.

PUNIA, S. & DHULL, S. B. Chia seed (*Salvia hispanica* L.) mucilage (a heteropolysaccharide): Functional, thermal, rheological behavior and its utilization. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 140, p. 1084–1090, 2019.

RAVINDRAN, R. & JAISWAL, A. K. Wholesomeness and safety aspects of irradiated **foods**. *Food Chemistry*, v. 285, pp. 363-368, 2019.

REN, L.; WANG, X.; LI, S.; LI, J.; ZHU, X.; ZHANG, L.; GAO, F.; ZHOU, G. Effect of gamma irradiation on structure, physicochemical and immunomodulatory properties of *Astragalus* polysaccharides. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 120, p. 641-649, 2018.

RAHMAN, Md, J.; de CAMARGO, A. C.; SHAHIDI, F. Phenolic and polyphenolic profiles of chia seed and their in vitro biological activities. *Journal of Functional Foods*, v. 35, p. 622-634, 2017.

RODRIGUES, F. G. F. & BRIZOLA, A. Radiação de baixa frequência e possível influência nociva a sistemas biológicos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 41, n. 3, 2019.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre DPPH. *Comunicado Técnico EMBRAPA*, v. 127, pp. 1-4. 2007.

SALGADO-CRUZ, M. P.; CALDERÓN-DOMÍNGUEZ, G.; CHANONA-PÉREZ, J.; FARRERA-REBOLLO, R. R.; MÉNDEZ-MÉNDEZ, J. V.; DÍAZ-RAMÍREZ, M. Chia (*Salvia hispanica* L.) seed mucilage release characterisation. A microstructural and image analysis study. *Industrial Crops and Products*, v. 51, p. 453-462, 2013.

SATHLER, M. M.; SALLES, P. M. B.; MENEZES, M. Â. B. C. Trace elements detection in whole food samples by neutron activation analysis, k_0 -method. In: International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2017, Oct. 22-27, 2017, Belo Horizonte, Brazil. *Proceedings...*

SHAO, Y.; TANG, F.; XU, F.; WANG, Y.; BAO, J. Effects of γ -irradiation on phenolics content, antioxidant activity and physicochemical properties of whole grain rice. ***Radiation Physics and Chemistry***, v. 85, p. 227-233, 2013.

SINGH, S.; SINGH, N.; EZEKIEL, R.; KAUR, A. Effects of gamma-irradiation on the morphological, structural, thermal and rheological properties of potato starches. ***Carbohydrate Polymers***, v. 83, p. 1521-1528, 2011.

SOSA, A.; GUADALUPE, R.; RANA, J.; GORDILLO, G.; WEST, H.; SHARMA, M.; LIU, X.; de la TORRE, R. R. Chia Crop (*Salvia hispanica* L.): its History and Importance as a Source of Polyunsaturated Fatty Acids Omega-3 Around the World: a Review. ***Journal of Crop Research and Fertilizer***, v. 1, p. 1-9, 2016.

SOSA, M. D.; MAGALLANES, L. M.; GROSSO, N. R.; PRAMPARO, M. C.; GAYGOL, M. F. Optimization of omega-3 concentration and sensory analysis of chia oil. ***Industrial Crops and Products***, v. 154, 2020.

SOUZA, T.; SILVA, S. V.; FONTE-FARIA, T.; NASCIMENTO-SILVA, V.; BARJA-FIDALGO, C.; CITELLI, M. Chia oil induces browning of white adipose tissue in high-fat diet-induced obese mice. ***Molecular and Cellular Endocrinology***, v. 507, 2020.

STEFFE, J. F. ***Rheological Methods in Food Process Engineering***, 2nd ed, Lansing: Freeman Press, 1996.

SWAIN, T.; HILLIS, W. E. The phenolic constituents of *Prunus domestica*. L. - the quantitative analysis of phenolic constituents. ***Journal of the Science of Food and Agriculture***, v.10, pp. 63-68, 1959.

TAHUATA, L.; SALATI, I.; DI PRINZIO, R.; DI PRINZIO, A. R. ***RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA: FUNDAMENTOS***. Comissão Nacional de Energia Nuclear – Instituto de Radioproteção e Dosimetria, 9ª revisão, 2013.

TAVARES, L. S. ***Extração e caracterização da mucilagem e de subprodutos da semente de chia (Salvia hispanica L.)***. 2016. Tese (Ciências dos Alimentos) Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, Brasil.

TEIXEIRA, C. A. H. M.; INAMURA, P. Y.; UEHARA, V. B.; MASTRO, N. L. d. Gamma radiation influence on technological characteristics of wheat flour. ***Radiation Physics and Chemistry***, v. 81, n. 8, p. 1160-1162, 2012.

TOLENTINO, R. G.; VEGA, L. R.; LEÓN, S, V.; FONTECHA, J. Contenido de ácidos grasos en semillas de chía (*Salvia hispanica* L.) cultivadas en cuatro estados de México. ***Revista Cubana de Plantas Medicinales***, v. 19, p. 199-207, 2014.

TONELI, J. T. C. L.; MURR, F. E. X.; PARK, K. J. Estudo da reologia de polissacarídeos utilizados na indústria de alimentos. ***Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais***, v. 7, n. 2, p. 181-204, 2005.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP); FOOD RESEARCH CENTER (FORC). ***Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TBCA)***, Versão 7.0. São Paulo, 2021. Disponível em: <<http://www.fcf.usp.br/tbca>> Acesso em: 04 abr. 2021.

VALDIVIA-LÓPEZ, MA.; TECANTE A. Chia (*Salvia hispanica*): A Review of Native Mexican Seed and its Nutritional and Functional Properties. ***Advances in food and nutrition research***, v. 75, p. 53-75, 2015.

VASQUEZ, C. T. ***Reologia do suco de goiaba***: efeito da diluição e do tamanho da partícula. 2003. 74 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

VERMA, M.; SHARMA, P.; GOUR, V. S.; KOTHARI, S. L. Moisture-mediated effects of γ -irradiation on antioxidant properties of mung bean (*Vigna radiate* L.) cultivars. ***Innovative Food Science and Emerging Technologies***, v. 34, p. 59-67, 2016.

VUSKAN, V.; JENKIS, A. L.; BRISSETTE, C.; CHOLEVA, L.; JOVANOVSKI, E.; GIBBS, A. L.; BAZINET, R. P; AU-YEUNG, F.; ZURBAU, A.; HO, H. V. T.; DUVNJAK, L.; SIEVENPIPER, J. L.; JOSSE, R. G.; HANNA, A. Salba-chia (*Salvia hispanica* L.) in the treatment of overweight and obese patients with type

2 diabetes: A double-blind randomized controlled trial. ***Nutrition, Metabolism & Cardiovascular Diseases***, v. 27, p. 138-146, 2017.

VUSKAN, V.; WHITAM, D.; SIEVENPIPER, J. L.; JENKINS, A. L.; ROGOVIK, A. L.; BAZINET, R. P.; VIDGEN, E.; HANNA, A. Supplementation of Conventional Therapy with the Novel Grain Salba (*Salvia Hispanica* L.) Improves Major and Emerging Cardiovascular Risk Factors in Type 2 Diabetes: Results of a Randomized Controlled Trial. ***Diabetes Care***, v. 30, n. 11, p. 2804-2810, 2007.

WINDSOR, J. B.; SYMONDS, V. V.; MENDENHALL, J.; LLOYD, A. M. Arabidopsis seed coat development: morphological differentiation of the outer integument. ***The Plant Journal***, v. 22, n. 6, p. 483-493, 2000.

WOJAHN, R. E. ***Viabilidade agrônômica do cultivo da chia no noroeste do Rio Grande Do Sul***. 2016. 62 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Desenvolvimento Rural) – Universidade de Cruz Alta, Cruz Alta.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Joint Consultation: fats and oils in human nutrition. ***Nutrition Reviews***, v. 53, n.7, p. 202-205, 1995.

YADAV, A.; SINGH, B.; SHARMA, D. K.; AHUJA, S. Effects of gamma irradiation on germination and physiological parameters of maize (*Zea mays*) genotypes. ***Indian Journal of Agricultural Sciences***, v. 85, n. 9, p. 1148-1152, 2015.

YALCIN, H.; OZTURK, I.; HAYTA, M.; SAGDIC, O.; GUMUS, T. Effect of Gamma-Irradiation on Some Chemical Characteristics and Volatile Content of Linseed. ***Journal of Medicinal Food***, v. 14, n. 10, p. 1223-1228, 2011.

ZAMBIAZI, R. R. ***Análise Físico Química de Alimentos***. Pelotas: Editora Universitária/UFPEL, 2007.

ZETTEL, V & HITZMANN, B. Applications of chia (*Salvia hispanica* L.) in food products. ***Trends in Food Science & Technology***, v. 80, p. 43-50, 2018.

ZHONG, Q. Food Rheology. In: KUTZ, M. ***Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery Engineering***. 3rd ed. New York: Academic Press, 2019.

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Diretoria de Pesquisa, Desenvolvimento e Ensino
Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 – Cidade Universitária CEP: 05508-000
Fone/Fax(0XX11) 3133-8908
SÃO PAULO – São Paulo – Brasil
<http://www.ipen.br>

O IPEN é uma Autarquia vinculada à Secretaria de Desenvolvimento,
associada
à Universidade de São Paulo e gerida técnica e administrativamente
pela
Comissão Nacional de Energia Nuclear, órgão do
Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações.
