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

**Ação da radiação ionizante no resíduo do processo de prensagem para
extração de óleo da macadâmia para utilização em alimentos**

INA PAOLA RAO

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

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

**São Paulo
2020**

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

**Ação da radiação ionizante no resíduo do processo de prensagem para
extração de óleo da macadâmia para utilização em alimentos**

Versão Corrigida

INA PAOLA RAO

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

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

**São Paulo
2020**

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

Como citar:

RAO, I. P. *Ação da radiação ionizante no resíduo do processo de prensagem para extração de óleo da macadâmia para utilização em alimentos*. 2020. 85 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)

Rao, Ina Paola
Ação da radiação ionizante no resíduo do processo de
prensagem para extração de óleo da macadâmia para utilização
em alimentos / Ina Paola Rao; orientadora Nélida Lúcia del
Mastro. -- São Paulo, 2020.
85 p.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em
Tecnologia Nuclear (Aplicações) -- Instituto de Pesquisas
Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2020.

1. Macadamia integrifolia. 2. resíduo de macadâmia. 3.
radiação ionizante. 4. composição de micronutrientes. 5.
análise por ativação neutrônica. I. Mastro, Nélida Lúcia del,
orient. II. Título.

Universidade de São Paulo

Janus

ATA DE DEFESA

Aluno: 85131 - 2727025 - 2 / Página 1 de 1

Ata de defesa de Dissertação do(a) Senhor(a) Ina Paola Rao no Programa: Tecnologia Nuclear, do(a) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares da Universidade de São Paulo.

Aos 29 dias do mês de janeiro de 2020, no(a) Auditório CTR realizou-se a Defesa da Dissertação do(a) Senhor(a) Ina Paola Rao, apresentada para a obtenção do título de Mestra intitulada:

"Ação da radiação ionizante no resíduo do processo de prensagem para extração de óleo da macadâmia para utilização em alimentos"

Após declarada aberta a sessão, o(a) Sr(a) Presidente passa a palavra ao candidato para exposição e a seguir aos examinadores para as devidas arguições que se desenvolvem nos termos regimentais. Em seguida, a Comissão Julgadora proclama o resultado:

Nome dos Participantes da Banca	Função	Sigla da CPG	Resultado
Nélida Lúcia Del Mastro	Presidente	IPEN (IPEN)	Aprovado
Eduardo Purgatto	Titular	FCF - USP	Aprovado
Maria Cristina Marcucci Ribeiro	Titular	UNIBAN - Externo	Aprovado

Resultado Final: Aprovado

Eu, Roberto F. F. M. L., lavrei a presente ata, que assino juntamente com os(as) Senhores(as) examinadores. São Paulo, aos 29 dias do mês de janeiro de 2020.

Eduardo Purgatto

- Maria Cristina Marcucci Ribeiro

Nélida Lúcia Del Mastro
Presidente da Comissão Julgadora

A defesa foi homologada pela Comissão de Pós-Graduação em _____ e, portanto, o(a) aluno(a) faz jus ao título de Mestra em Ciências obtido no Programa Tecnologia Nuclear - Área de concentração: Tecnologia Nuclear - Aplicações.

Presidente da Comissão de Pós-Graduação

À Deus,
pela vida,

Aos meus pais, Francesco e Margarida,
por me ensinarem a importância dos estudos,

Ao meu amor, Marcello,
pelo apoio e incentivo,

À minha família,
por participarem de todos os momentos,

À Liebe,
pela alegria!

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Profª. Drª. Nélida Lúcia del Mastro, pelos ensinamentos, incentivo e entusiasmo contagiante durante todo o desenvolvimento desse trabalho.

À Profª. Drª. Monica Beatriz Mathor pelas sugestões na Comissão Julgadora no Exame de Capacidade.

À Profª. Drª. Mitiko Saiki, pelas sugestões na Comissão Julgadora do Seminário de Área.

À Profª. Drª. Maria José A. Armelin, pela realização das análises por ativação neutrônica.

Aos Engs. Elizabeth S. R. Somessari, Carlos Sousa e Heitor Duarte, pela realização da irradiação das amostras.

Ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), pela oportunidade da realização desse trabalho.

Aos amigos da Queen Nut Macadâmia, Sr. José Eduardo Camargo, Sra. Maria Teresa E. M. Camargo, Sra. Isabela Piza, Sr. Pedro L. B. de Toledo Piza, por disponibilizarem as amostras de resíduo de macadâmia e fornecerem todas as informações solicitadas.

Ao Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), na pessoa do Prof. Osvaldo Lahoz Maia, pela oportunidade de participar do Programa de Pós-Graduação *Stricto sensu*, parceria IPEN – SENAI.

Ao amigo Carlos A. P. Coelho, pelo primeiro incentivo para cursar Pós-Graduação.

À Profª. Drª. Tatiana Beatris Tribess, pela amizade, carinho, apoio e sugestões para esse trabalho.

Ao Prof. Estebe, pelo apoio e incentivo para cursar Pós- Graduação concomitantemente a jornada de trabalho.

À Profª. Cristiana, pelas sugestões e orientações para o trabalho.

À Profª. Erica Helena, pela amizade e pelos ensinamentos de microbiologia para realização dos ensaios.

À Dr^a. Nathalia, pelo auxílio na elaboração dos gráficos e pela amizade.

Ao Anderson, pelo auxílio na elaboração das figuras e pela amizade.

Aos amigos do Laboratório de Ensaio em Alimentos (LEA/SENAI), Lilian, Samira e Fabio, pela realização dos ensaios microbiológicos e físico-químicos e pela orientação para que eu realizasse os ensaios. Pelas sugestões e ensinamentos.

Aos amigos do Laboratório de Ensaio Físico-químicos e Microbiológicos em Alimentos (LAMAR/SENAI), Mayara, Eloise e Ricardo Boscolo, pelas informações e pelos ensinamentos.

Aos Profs. Bárbara e Alan, e à Tamiris, pela orientação para realização dos ensaios de gorduras e proteínas.

À Prof^a. Janaina, pela amizade e sugestões para esse trabalho.

Aos amigos do SENAI, Cristiano Nascimento, Reginaldo, Marcelo Kobayoshi, Cristiano Cardoso, Elias, Marcos e Ana, por compartilharem o percurso dessa jornada.

Às amigas do Instituto SENAI de Tecnologia em Alimentos e Bebidas (IST-A&B), Viviane, Cristina e Celeste, pelo apoio, amizade e pela torcida.

Aos meus pais, Francesco e Margarida, por me ensinarem a importância dos estudos, por sempre me apoiarem, pelo amor e carinho. Por serem meus exemplos de vida.

Ao meu amor, Marcello, pelo apoio, carinho e compreensão. Por sempre estar ao meu lado e me mostrar um futuro melhor, quando achava que a caminhada estava difícil.

À minha amada irmã Rosaria, meu cunhado Paulo e sobrinhos Iasmin e Pedro, pela torcida e pelo entusiasmo em cada etapa transposta.

Aos meus sogros, Regina e Hideo, por sempre orarem a Deus para que eu tivesse graça aos Seus olhos. Por compartilhar com alegria cada conquista.

Aos meus cunhados, Ana e Giovane, pela amizade e pelo carinho.

À minha alegria Liebe, por esperar com paciência até que eu terminasse meus estudos para podermos brincar juntas.

MUITO OBRIGADA!

"Não digas que o solo é árido, que não chove frequentemente, que o sol queima ou que a semente não serve. Não é tua função julgar a terra e o tempo. Tua função é semear."

Gibran Khalil Gibran

2 Crônicas 1: Salomão pede a Deus sabedoria

"⁷Naquela noite, apareceu Deus a Salomão e lhe disse: "Pede-me o que queres que eu te dê". ⁸Respondeu-lhe Salomão: De grande benevolência usaste para com Davi, meu pai, e a mim que fizeste reinar em seu lugar. ⁹Agora, pois, ó Senhor Deus ... ¹⁰Dá-me sabedoria e conhecimento... ¹¹Disse Deus a Salomão: Porquanto foi este o desejo do teu coração... ¹²sabedoria e conhecimento são dados a ti, e te darei riquezas, bens e honras, quais não teve nenhum rei antes de ti, e depois de ti não haverá teu igual."

AÇÃO DA RADIAÇÃO IONIZANTE NO RESÍDUO DO PROCESSO DE PRENSAGEM PARA EXTRAÇÃO DE ÓLEO DA MACADÂMIA PARA UTILIZAÇÃO EM ALIMENTOS

Ina Paola Rao

RESUMO

Muitos subprodutos da indústria de alimentos são ricos em nutrientes, no entanto, ainda são pouco utilizados para consumo, pois necessitam de tratamentos que garantam a segurança microbiológica. A irradiação de alimentos é um processo que responde a esta demanda, pois reduz a população microbiana mantendo a qualidade nutricional do alimento. O objetivo deste trabalho foi estudar a ação da radiação ionizante no resíduo resultante da extração a frio de óleo de macadâmia para utilização em alimentos. Já foi estudada a utilização do resíduo para alimentação animal; entretanto, a originalidade desse trabalho é a proposta da utilização desse resíduo irradiado para consumo humano. O resíduo foi submetido à irradiação em fonte de ^{60}Co Gammacell 220 com doses de 0 – 7,5 kGy. A radiação gama, nas doses aplicadas, não induziu mudanças significativas na composição centesimal e no perfil de ácidos graxos. A caracterização físico-química, pelos ensaios de composição centesimal, mostrou que a macadâmia e o resíduo da extração de óleo, são ricos em gorduras totais, atribuídos principalmente às gorduras monoinsaturadas, além de proteína e fibras. Todo o perfil de ácidos graxos foi analisado sendo encontrado principalmente ácido oleico (cerca de 60 %), palmitoléico (cerca de 18 %) e palmítico (cerca de 8 %). O resíduo após irradiação apresentou o mesmo perfil de ácidos graxos. Pela análise por ativação neutrônica foi possível verificar a presença de minerais relevantes. O resíduo irradiado mostrou-se ainda mais rico do que a própria noz em micronutrientes tais como Ca, K, Mn, Mg, Cu e Zn. Foram realizados ensaios microbiológicos na noz macadâmia e no resíduo irradiado e não irradiado. Foram analisados coliformes a 45°C, *Salmonella sp*, contagem total de bolores e leveduras, contagem total de aeróbios mesófilos e *Bacillus cereus*. Os ensaios realizados mostram que doses iguais ou maiores de 5 kGy são suficientes para que o resíduo da macadâmia atenda a legislação vigente e as indicações citadas na literatura, podendo ser utilizado com segurança pela indústria alimentícia.

Palavras chave: *Macadamia integrifolia*; resíduo de macadâmia; radiação ionizante; composição de micronutrientes; análise microbiológica; análise por ativação neutrônica.

INFLUENCE OF IONIZING RADIATION ON THE RESIDUE OF MACADAMIA OIL EXTRACTION TO BE USED AS FOOD

Ina Paola Rao

ABSTRACT

Many byproducts of food industry are rich in nutrients, but are still little used for human consumption as they require treatments that ensure microbiological safety. Food irradiation is a process that responds to this industry demand, as it reduces the contaminating microbial population while maintaining the nutritional quality of the food. The objective of this work was to study the action of ionizing radiation in the residue resulting from the cold pressed extraction of macadamia oil for food application. The use of residue for animal feed has already been studied; however, the originality of this work is the proposal to use this irradiated residue for human consumption. Samples were submitted to irradiation in a ^{60}Co Gammacell 220 source at doses of 0 – 7.5 kGy. Gamma radiation at the applied doses did not induce significant changes in centesimal composition and fatty acid profile. The physicochemical characterization, by the centesimal composition assay, showed that the macadamia and the residue of the oil extraction, are rich in total fats, attributed mainly to the monounsaturated fats, besides protein and fibers. The whole fatty acid profile was analyzed and it was found mainly oleic acid (about 60%), palmitoleic acid (about 18%) and palmitic acid (about 8%). The residue after irradiation presented the same fatty acid profile. By Instrumental Neutron Activation Analysis (INAA) it was possible to verify the presence of relevant minerals. The irradiated residue was even richer than the nut itself in micronutrients such as Ca, K, Mn, Mg, Cu and Zn. Microbiological tests were performed on macadamia nut and on irradiated and non-irradiated residues. Coliforms at 45°C, *Salmonella sp*, total count of mold and yeast, total count of mesophilic aerobic and *Bacillus cereus* were analyzed. Tests show that doses equal to or greater than 5 kGy are sufficient for the macadamia residue to comply with current legislation and the indications cited in the literature and can be safely used by the food industry.

Keywords: *Macadamia integrifolia*; macadamia cake; ionizing radiation; micronutrient composition; microbiological analysis; instrumental neutron activation analysis.

SUMARIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVO.....	2
2.1 Objetivo Geral.....	2
2.2 Objetivos Específicos	2
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	3
3.1 Macadâmia	3
3.1.1 Propriedades nutricionais da macadâmia	5
3.1.2 Aspectos mercadológicos da macadâmia.....	8
3.1.3 Processamento da macadâmia.....	12
3.2 Microbiologia da macadâmia	16
3.2.1 Padrões microbiológicos para nozes, amêndoas, amendoim e similares, cruas, inteiras ou descascadas	21
3.3 Irradiação de alimentos	23
3.3.1 Legislação sobre a irradiação de alimentos	25
3.3.2 Processo de irradiação de alimentos.....	26
3.3.3 Efeito das radiações ionizantes nos microrganismos	27
3.4 Análise por ativação neutrônica aplicada à caracterização de minerais da macadâmia	28
4 MATERIAL E MÉTODOS	31
4.1 Material	31
4.2 Irradiações	31
4.3 Ensaio microbiológicos	32
4.3.1 Ensaio microbiológicos - métodos AOAC	32
4.3.2 Ensaio microbiológicos - métodos APHA.....	34
4.4 Ensaio físico-químicos.....	40
4.5 Análise por ativação neutrônica	46
4.6 Análise estatística.....	47

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
5.1 Ensaios microbiológicos	48
5.2 Ensaios físico-químicos.....	54
5.3 Análise por ativação neutrônica (INAA).....	63
6 CONCLUSÃO	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Distribuição dos plantios de macadâmia no mundo (International Macadamia Symposium, 2012).	4
TABELA 2 - Distribuição dos plantios de macadâmia no Brasil (Associação Brasileira de Noz Macadâmia, 2013).	4
TABELA 3 - Ingestão diária recomendada para adultos (BRASIL, 2005).	7
TABELA 4 - Produção mundial de macadâmia (adaptado de MACADAMIAS SOUTH AFRICA, 2018).	9
TABELA 5 - Padrões microbiológicos (BRASIL, 2001a).	22
TABELA 6 - Doses de radiação recomendadas para vários objetivos (compilado por MASTRO, 2015).	23
TABELA 7 - Número Mais Provável por grama ou ml, para séries de 3 tubos com inóculos de 0,1; 0,01 e 0,001 g ou ml e respectivos intervalos de confiança 95 % (BLODGETT, 2010).	38
TABELA 8 - Avaliação microbiológica da noz macadâmia e do resíduo.	48
TABELA 9 - Avaliação físico-química da noz macadâmia e do resíduo.	54
TABELA 10 - Perfil de ácidos graxos (%) da noz macadâmia e do resíduo.	55
TABELA 11 - Composição do resíduo em função da dose de radiação.	56
TABELA 12 - Perfil de ácidos graxos (%) do resíduo irradiado.	59
TABELA 13 – Comparação da composição de micronutrientes (µg/g) na noz e no resíduo obtidos por INAA no presente trabalho e dados da literatura.	63

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Árvores de macadâmia (fonte: HENRIQUE, 2009) e flores de macadâmia M. Integrifolia (fonte: STEPHENSON, 2005).	5
FIGURA 2 - Frutos da macadâmia (fontes: LUDWIG, 2015 e Macadamia Processing Company, 2019).	5
FIGURA 3 - Produção mundial de nozes (fonte: International nut and Dried Fruit Council, 2017).	8
FIGURA 4 - Distribuição da produção de nozes e castanhas nas regiões brasileiras (elaborada a partir de Globo Rural, 2017).	10
FIGURA 5 - Mudas de macadâmia e área de cultivo (BONATO, 2014).	12
FIGURA 6 - Frutos da macadâmia caídos no chão (Foto: Leonardo Moriya, 2012).	13
FIGURA 7 - Classificação das amêndoas (fonte: Queen Nut Macadamia, 2019).	13
FIGURA 8 - Processamento da noz macadâmia (adaptado de AUSTRALIAN MACADAMIAS, 2019).	14
FIGURA 9 - Amêndoas que não apresentam boa aparência utilizadas para extração de óleo (Foto: Ina Paola Rao, 2015).	15
FIGURA 10 - Extração de óleo de macadâmia (fotos cedidas pela Empresa Queen Nut Macadâmia, 2017).	15
FIGURA 11 - Resíduo resultante da extração de óleo de macadâmia (foto cedida pela Empresa Queen Nut Macadamia, 2017).	15
FIGURA 12 – Irradiadores: Fonte de ^{60}Co, Gammacell 220 (esquerda) e acelerador de elétrons Dynamitron, Radiation Dynamics (direita).	27
FIGURA 13 - Esquema da sequência de eventos na reação nuclear em análise por ativação neutrônica (adaptado de INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 1990).	29
FIGURA 14 - Amostras do resíduo da extração de óleo de macadâmia identificadas de 1 a 8.	31
FIGURA 15 - Laboratório de Microbiologia – Instituto SENAI de Tecnologia em Alimentos e Bebidas.	32
FIGURA 16 - Diluição seriada 10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3} e 10^{-4} e ensaios em triplicata.	37

FIGURA 17 - Ensaio de Mesófilos em placa BioControl (método AOAC) e em placa da diluição 10^{-3}, 0 kGy (método APHA).	40
FIGURA 18 - Laboratório de Ensaios em Alimentos – LEA – no Instituto SENAI de Tecnologia em Alimentos e Bebidas.	40
FIGURA 19 - Conjunto analisador de proteína.	42
FIGURA 20 - Sistema de extração de gordura.	43
FIGURA 21 - Cromatógrafo gás / massa.	44
FIGURA 22 - Equipamento de espectrometria gama.	46
FIGURA 23 - Ensaio de bolores e leveduras pelo método de contagem padrão em placas em amostras irradiadas a 0 (esq.) e 7,5 kGy (dir).	50
FIGURA 24 - Concentração de bolores e leveduras em função da dose.	50
FIGURA 25 - Concentração de aeróbios mesófilos em função da dose.	51
FIGURA 26 - Cromatograma do perfil de ácidos graxos da noz macadâmia.	55
FIGURA 27 - Cromatogramas do perfil de ácidos graxos do resíduo irradiado a 0 kGy (a); 0,5 kGy (b); 2,5 kGy (c) e 5 kGy (d).	58
FIGURA 28 - Porcentagem da Ingestão Diária Recomendada (IDR) contida em 30g de macadâmia e do resíduo.	65

1 INTRODUÇÃO

A indústria brasileira tem se empenhado cada vez mais em aumentar a sua competitividade. A globalização, as novas tecnologias e a crescente preocupação com a sustentabilidade dos processos fabris faz com que as empresas invistam em pesquisa e desenvolvimento, fabricação e comercialização de novos produtos. Neste contexto, os produtores brasileiros que plantam, beneficiam e comercializam produtos e derivados da macadâmia para o mercado interno e externo, têm buscado melhorias em seus processos. Atualmente, eles buscam uma aplicação para o resíduo resultante da extração de óleo de macadâmia, também rico em nutrientes.

A macadâmia, considerada a “rainha das nozes”, tem seu consumo crescente. Entretanto, poucos estudos foram realizados sobre sua utilização e benefícios. Estatísticas oficiais brasileiras mostram ainda poucas informações. Mais escassas ainda são as informações dos derivados da produção da macadâmia, como o resíduo resultante da extração de óleo.

Para a utilização do resíduo como ingrediente na indústria de alimentos, faz-se necessário garantir a sua segurança microbiológica. O processamento do resíduo pela irradiação pode atingir este objetivo, além de oferecer vantagens sobre os processos convencionais.

O presente estudo foi idealizado em parceria entre a empresa brasileira Queen Nut Macadamia, maior produtor local, o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN-CNEN/SP, referência na inovação de aplicações da tecnologia nuclear com destacada atuação em vários setores da atividade nuclear, dentre eles a irradiação de alimentos; e o Instituto SENAI de Tecnologia em Alimentos & Bebidas, que tem como missão aumentar a competitividade da indústria nacional com diversas maneiras de atendimento, dentre elas a realização de ensaios laboratoriais.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste estudo foi analisar o efeito da radiação gama na composição físico-química-microbiológica do resíduo resultante da extração de óleo de macadâmia para utilização como ingrediente em alimentos, garantindo segurança alimentar e comercialização, aumentando a vida de prateleira, e agregando valor ao produto.

2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Caracterizar microbiologicamente a noz macadâmia e o resíduo resultante da extração de óleo de macadâmia.
- ✓ Analisar o efeito da radiação gama nos parâmetros microbiológicos do resíduo.
- ✓ Caracterizar a noz macadâmia e o resíduo resultante da extração de óleo de macadâmia através da composição centesimal e do perfil de ácidos graxos.
- ✓ Analisar o efeito da radiação gama na composição centesimal do resíduo.
- ✓ Caracterizar minerais da noz macadâmia e do resíduo da extração de óleo de macadâmia por meio de análise por ativação neutrônica.
- ✓ Analisar os minerais presentes na noz e no resíduo em comparação à ingestão diária recomendada.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Macadâmia

A árvore da macadâmia pertence à família Proteaceae, e possui um fruto de mesmo nome. É originária da Austrália Oriental, onde era encontrada em densas florestas naturais das províncias de New South Wales e de Queensland. Foi descoberta e botanicamente catalogada entre 1840 e 1860, entretanto foi ignorado por muito tempo seu grande potencial econômico no país de origem (TOLEDO PIZA & MORIYA, 2014).

O desenvolvimento comercial da macadâmia teve início nos anos 1880, quando William Purvis importou árvores para o Havaí (STEPHENSON, 2005). O Havaí tornou-se o principal produtor de macadâmia, que recebeu o apelido de “Noz do Havaí”. A propaganda que incentivava o consumo da noz aliada a investimentos no desenvolvimento de variedades, tecnologia de beneficiamento, controle da qualidade de produção, armazenamento e distribuição atribuíram ao Havaí a posição de maior produtor mundial de macadâmia por quase um século.

Com a divulgação das qualidades da macadâmia e de seus derivados, e o aumento de seu consumo, bem como evidências de sua boa rentabilidade, a noz tornou-se um sucesso e outros países iniciaram sua produção e comercialização. A partir de 1940 a Austrália iniciou o plantio comercial da macadâmia e, em escala crescente, em 2000, tornou-se o maior produtor da noz. No Brasil, as primeiras árvores foram trazidas em 1935, entretanto, os primeiros plantios comerciais ocorreram no final dos anos 1970. Atualmente, a macadâmia é bastante apreciada pela indústria cosmética e alimentícia, sendo utilizada como ingrediente em doces, bolos e sorvetes (TOLEDO PIZA & MORIYA, 2014). Na TAB 1 é apresentada a distribuição dos plantios de macadâmia no mundo e na TAB 2, no Brasil.

TABELA 1 - Distribuição dos plantios de macadâmia no mundo (*International Macadamia Symposium*, 2012).

PAÍS	ÁREA (ha)	%
África do Sul	19.000	19%
Austrália	17.500	18%
China	16.500	17%
Quênia	12.000	12%
Guatemala	9.000	9%
Havai (EUA)	6.800	7%
Brasil	6.500	7%
Malauí	5.300	5%
Colômbia	1.500	2%
Zimbábue	1.500	2%
Moçambique	1.000	1%
Bolívia	1.000	1%
Equador	500	1%
Paraguai	500	1%
Outros	1.400	1%
TOTAL	100.000	100%

TABELA 2 - Distribuição dos plantios de macadâmia no Brasil (Associação Brasileira de Noz Macadâmia, 2013).

ESTADO	PLANTAS	ÁREA (ha)	%
SÃO PAULO	650.000	3.000	46%
ESPÍRITO SANTO	220.000	1.000	15%
MINAS GERAIS	180.000	850	13%
BAHIA	100.000	500	8%
RIO DE JANEIRO	100.000	500	8%
MATO GROSSO	100.000	500	8%
PARANÁ	30.000	150	2%
TOTAL	1.380.000	6.500	100%

As árvores da espécie *M. integrifolia* são plantas perenes, isto é, possuem ciclo de vida longo, sendo produtivas a partir do oitavo ano e produzindo por até 50 anos. São árvores de médio a grande porte, alcançando até 20 metros de altura (FIG 1). As nozes são colhidas após queda natural. A produtividade depende de diversos fatores, sendo que após doze anos do plantio, quando as árvores estarão em plena produção, pode-se alcançar de 30 kg a 40 kg de noz por árvore (SOBIERAJSKI et al., 2006).

FIGURA 1 - Árvores de macadâmia (fonte: HENRIQUE, 2009) e flores de macadâmia *M. Integrifolia* (fonte: STEPHENSON, 2005).

A FIG 2 ilustra o fruto da macadâmia. A parte interna do fruto possui uma amêndoa de cor creme, envolvida por uma casca de cor marrom. O conjunto da amêndoa com a casca é chamado de “noz”. A noz, por sua vez, é contida por uma casca de cor verde, chamada de “carpelo” (TOLEDO PIZA, 2005).

FIGURA 2 - Frutos da macadâmia (fontes: LUDWIG, 2015 e Macadamia Processing Company, 2019).

3.1.1 Propriedades nutricionais da macadâmia

As nozes são largamente consumidas em todo o mundo, não só pelo seu sabor, mas também pelos seus benefícios para a saúde, uma vez que o consumo melhora a ingestão de nutrientes e a qualidade da dieta podendo trazer benefícios cardiovasculares e metabólicos. De modo geral, as nozes contêm macro e micronutrientes de alto valor nutricional. São boas fontes de fibras alimentares e minerais, principalmente cálcio, ferro, zinco, selênio e potássio. As fibras são carboidratos complexos que, passando pelo trato digestivo, favorecem a digestão e reduzem a fome. As fibras são encontradas na macadâmia nas células que compõem a

amêndoa. Em conjunto com os demais componentes da macadâmia, podem reduzir riscos de cânceres, diabetes e doenças cardiovasculares (FRANÇA, 2007).

A macadâmia, como todas as nozes, é pobre em carboidratos, mas abundante em ácidos graxos, em proporção ideal para um bom perfil lipídico no plasma. É um bom prebiótico e melhora a microbiota intestinal. Seus componentes possuem nutrientes e substâncias bioativas, isto é, substâncias que apresentam efeitos sobre a fisiologia ou metabolismo humano, e podem exercer grande influência sobre a saúde (FREITAS & NAVES, 2010; RUSU et al., 2018). Acredita-se que o consumo de nozes melhora a expectativa de vida e saúde e deve ser parte de uma dieta saudável em idosos (O'NEIL et al., 2010; ROS, 2010). As nozes comumente consumidas são amêndoa, castanha do Pará ou castanha do Brasil, caju, avelã, macadâmia, nozes, pinhão e pistache, entre outras. Além de serem pobres em açúcares, ricas em ácidos graxos insaturados, vitaminas e minerais, as nozes são boas fontes de substâncias bioativas e fitoquímicos (TAS & GOKMEN, 2017).

A macadâmia pode conter até 78% de óleo, sendo considerada a noz mais rica em óleo, óleo este que ajuda a equilibrar os níveis de colesterol (SILVA et al., 2014; SINANOGLU et al., 2014). É boa fonte energética, pois possui altos teores de lipídios, cerca de 40 % a 60 %, e de proteínas, entre 8 % a 20 %. Dez unidades de macadâmia possuem 45 kcal. O perfil de ácidos graxos da macadâmia é composto principalmente pelos ácidos oleico (C18:1) e palmitoleico (C16:1). O consumo de alimento ricos em ácido palmitoleico aumenta o metabolismo, reduz o armazenamento de gordura e reduz o apetite. Na macadâmia tem destaque a relação ω -6: ω -3, contribuindo para a redução de doenças cardiovasculares. Dentre as nozes, a macadâmia possui a menor proporção de ω -6/ ω -3 (0,70). Sobressaem-se também a quantidade de vitamina E e de selênio na noz, o que contribuiria para diminuir os riscos de doenças cardiovasculares e doenças como câncer de estômago, esôfago, cólon, reto e próstata (MOREDA-PIÑEIRO et al., 2016).

A macadâmia possui altos teores de flavonoides. O consumo de alimentos com alto teor de flavonoides é recomendável pois lhe são atribuídos benefícios importantes à saúde, tais como ação antioxidante, ação anti-inflamatória, prevenção do câncer, alívio dos sintomas da menopausa e diminuição do risco de aterosclerose (BLOMHOFF et al., 2006). A ingestão da macadâmia nas refeições, em saladas, nos lanches ou sobremesas, para pessoas com alta taxa de colesterol, pode proporcionar uma

redução de 9,4 % do colesterol total e 8,9 % do colesterol LDL, conhecido como colesterol ruim, além de reduzir o nível de triglicérides (ALENCAR, 2015).

A macadâmia é fonte de micronutrientes como o cobre. O consumo regular de macadâmia auxilia na síntese de neurotransmissores, responsáveis pela comunicação das células no sistema nervoso. Outro micronutriente presente na macadâmia é o manganês, importante para a saúde dos ossos (ARROBA, 2017).

De acordo com a Sociedade Australiana de Macadâmia (AMS), a composição centesimal da macadâmia é de 75,50 % de gorduras totais, 9,54 % de proteína, 240,8 mg de fósforo, 53,9 mg de cálcio, 410 mg de potássio e 51,99 mg de tiamina, riboflavina e niacina.

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA aprovou o Regulamento Técnico sobre a Ingestão Diária Recomendada (IDR) de Proteínas, Vitaminas e Minerais (BRASIL, 2005). Na TAB 3 é mostrada a ingestão diária recomendada (IDR) para adultos de alguns minerais que devem ser consumidos diariamente para atender às necessidades nutricionais da maior parte dos indivíduos e grupos de pessoas de uma população sadia.

TABELA 3 - Ingestão diária recomendada para adultos (BRASIL, 2005).

Nutriente	Unidade	Valor
Cálcio	mg	1000
Ferro	mg	14
Magnésio	mg	260
Zinco	mg	7
Iodo	µg	130
Fosforo	mg	700
Flúor	mg	4
Cobre	µg	900
Selênio	µg	34
Molibdênio	µg	45
Cromo	µg	35
Manganês	mg	2,3

3.1.2 Aspectos mercadológicos da macadâmia

O consumo de nozes e castanhas vem crescendo mundialmente. Segundo dados do *International Nut and Dried Fruit Council* (INC) entre 2016 e 2017 houve o maior crescimento de produção de nozes e castanhas dos últimos dez anos. Na China o aumento registrado foi de 96%. Na FIG 3 pode ser observado o crescimento na produção mundial de nozes.

FIGURA 3 - Produção mundial de nozes, em toneladas (fonte: *International nut and Dried Fruit Council*, 2017).

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2016 o Brasil exportou 24.699.833 toneladas de nozes e castanhas, que perfazem US\$ 149,6 milhões e importou 21.115.474 toneladas, totalizando US\$ 99,25 milhões em importação.

O consumo mundial da macadâmia restringe-se a apenas 2 % a 3 % entre as nozes (GLOBO RURAL, 2006). O aumento do consumo, resultante da maior atenção dos consumidores pela inclusão de alimentos saudáveis na dieta alimentar, impulsiona a indústria e este fato aponta a macadâmia como um dos alimentos do futuro (TOLEDO PIZA & MORIYA, 2014). É considerada uma das melhores nozes *gourmet* do mundo. Possui inigualável sabor delicado, textura fina e crocante. A noz pode ser consumida

crua, torrada, salgada ou caramelizada (FRANÇA, 2007). A macadâmia é bastante apreciada pela indústria alimentícia sendo utilizada como ingrediente para fabricação de bolos (40 % da produção mundial processada), biscoitos (35 %), chocolates (22 %) e sorvetes (3 %) (STEPHENSON, 2005).

Na indústria cosmética e farmacêutica, a macadâmia é muito apreciada pelas suas propriedades antioxidantes e hidratantes, que contribuem para a saúde e a beleza da pele, dos lábios e do cabelo.

Na TAB 4 é mostrada a produção mundial de macadâmia e a produção projetada até 2020. A África do Sul lidera a produção mundial, seguida da Austrália e dos EUA. Não existe expectativa de crescimento da produção de macadâmia nos EUA, um dos maiores consumidores da noz. Assim, o país pode ser considerado um grande importador de macadâmia.

TABELA 4 - Produção mundial de macadâmia (adaptado de *MACADAMIAS SOUTH AFRICA*, 2018).

País	Área total (ha)	Produção projetada (toneladas métricas)					
		2015	2016	2017	2018	2019	2020
África do Sul	19500	46950	50500	54000	57600	61200	64800
Austrália	17500	43945	46000	50000	53000	55000	58000
Estados Unidos	8160	16500	16500	16500	16500	16500	16500
Quênia	17500	24000	27500	32000	36000	42000	47000
Malawi	6058	6559	7573	6967	7803	7178	8040
Guatemala	10000	8867	9050	9225	9400	9575	9800
Brasil	6000	6000	6300	6600	6900	7200	7500
China	65000	5000	8000	12000	20000	30000	50000

Ainda de acordo com a TAB 4, a produção projetada para 2020 da China é de 50000 toneladas, quando o país assumirá o terceiro lugar na produção mundial. O Brasil é o sétimo produtor mundial de macadâmia e a expectativa é que a produção aumente até 2020.

No Brasil, como mencionado anteriormente, o plantio comercial da macadâmia é recente. A produtividade ainda é baixa, sendo necessários investimentos em pesquisa em relação a áreas de plantio, controle da qualidade de produção e manuseio e benefícios nutricionais. A maior parte da produção de macadâmia local destina-se à exportação para os EUA, Europa e Japão (NETO & NOGUEIRA, 2010). Existem no país cerca de 250 produtores, sendo 160 deles no Estado de São Paulo (HENRIQUE, 2009). Na FIG 4 estão ilustradas as regiões brasileiras e a principal produção de nozes e castanhas de cada uma.

FIGURA 4 - Distribuição da produção de nozes e castanhas nas regiões brasileiras (elaborada a partir de Globo Rural, 2017).

O Brasil apresenta condições climáticas favoráveis ao cultivo da macadâmia em grande parte de São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo, sul de Minas Gerais, leste do Mato Grosso do Sul e oeste do Paraná (SCHNEIDER et al., 2012). Conforme apresentado na TAB 2, 46 % da área cultivada no país se encontra em São Paulo, 15 % no Espírito Santo, 13 % em Minas Gerais, 8 % na Bahia, 8 % no Rio de Janeiro, 8 % em Mato Grosso e 2 % no Paraná. No Estado de São Paulo, as maiores áreas cultivadas estão nos municípios de Dois Córregos com participação de 17 %, e em Bauru, com participação de 11 % (SOBIERAJSKI et al., 2006).

Os produtores do Brasil enviam suas produções de macadâmias descarpeladas para beneficiadoras. Existem no país três unidades beneficiadoras consideradas de médio porte nos Estados de São Paulo, Espírito Santo e Rio de Janeiro, com capacidade de beneficiamento de 2000 toneladas por ano cada uma. As beneficiadoras processam o produto recebido dos produtores, juntamente com sua própria produção. Estas comercializam as macadâmias destinadas principalmente aos EUA (80 %), à Europa (10 %), e a outros países como Japão e Arábia Saudita (5 %). Somente 5 % da produção brasileira destina-se ao consumo interno. O mercado interno é basicamente abastecido por cinco unidades beneficiadoras de pequeno porte localizadas em diversos estados brasileiros (BONATO, 2014; JORNAL ENTREPOSTO, 2016).

Como mencionado anteriormente, o Brasil também produz óleo de macadâmia. A principal produtora do óleo está localizada em Uchoa, no Estado de São Paulo, com capacidade de 150 litros por mês. Para a produção de óleo de macadâmia as nozes não necessitam apresentar boa aparência, entretanto, devem dispor de qualidade microbiológica e não apresentar depreciações como fungos, umidade e oxidação. Devem possuir bom teor de lipídios, que dependem das condições climáticas, do solo e do método de colheita.

O processo utilizado para extração do óleo da macadâmia é a prensagem, realizada a frio, uma única vez. Das macadâmias prensadas é possível extrair 47 % de óleo bruto que, após decantação, oferece 33 % de rendimento final. De acordo com Sobierajski et al. (2006) o óleo de macadâmia produzido no Brasil é destinado ao mercado interno, para as indústrias farmacêutica, cosmética e alimentícia, sendo três vezes mais concentrado do que o óleo importado, americano, que é hidrossolubilizado.

A empresa Queen Nut Macadamia, localizada em Dois Córregos, no Estado de São Paulo, é considerada a maior beneficiadora do Brasil. Em 1989 a empresa iniciou o plantio de 1 hectare, e, em 1990, foi produzido o viveiro de mudas e realizado o plantio de 4000 plantas. Na FIG 5 são mostradas mudas de macadâmia e área de cultivo.

FIGURA 5 - Mudas de macadâmia e área de cultivo (BONATO, 2014).

Em 1990 foi organizado o primeiro encontro de produtores de macadâmia do Brasil. Nessa ocasião, foi fundada a Associação dos Produtores de Macadâmia do Estado de São Paulo (APROMESP), sendo eleito como presidente da associação, José Eduardo Camargo, proprietário da empresa Queen Nut Macadamia. Desde então, a associação tem promovido encontros entre a Indústria, o Governo e a Universidade. Em 2008 a APROMESP expande sua abrangência para o território nacional, criando a Associação Brasileira de Noz Macadâmia (ABM). Atualmente a ABM tem como associados todos os segmentos envolvidos na produção, beneficiamento e comercialização da macadâmia no país. A produção de macadâmias da empresa Queen Nut Macadamia destina-se principalmente à exportação, como mencionado anteriormente. Para tanto, a empresa está em conformidade com normas internacionais, garantindo a qualidade do produto e permitindo rastreabilidade dos lotes exportados. Para atender ao mercado externo, a empresa investe em infraestrutura e pessoal especializado. Quando a macadâmia é exportada com a casca, também conhecida como “*nut in shell*”, o produto não possui valor agregado. É o caso de exportações para a China. Mas a referida empresa é também produtora de óleo de macadâmia.

3.1.3 Processamento da macadâmia

Quando os frutos da macadâmia estão maduros, caem naturalmente das árvores (FIG 6) e são recolhidos manualmente ou com máquinas. As nozes colhidas possuem cerca de 30 % de umidade, o que favorece o aparecimento de mofo. Para que seja evitado o mofo, a umidade deve ser reduzida para menos de 10 %. A redução da umidade é importante para a qualidade do produto, reduzindo perdas. Após a secagem, o carpelo é removido dos frutos (MASON, 2000).

FIGURA 6 - Frutos da macadâmia caídos no chão (Foto: Leonardo Moriya, 2012).

Após o descarpelamento, as nozes são secas por convecção de ar à temperatura ambiente, na sombra. As nozes são então secas em um silo por convecção de ar quente forçado. O processo de secagem total dura mais de um mês e é a etapa que mais contribui para a qualidade das nozes. Durante a secagem, as amêndoas diminuem de tamanho e se soltam das cascas. As cascas são quebradas e as amêndoas são higienizadas e classificadas (FIG 7) (SILVA et al., 2007; GARCIA, 2010; TUMBA, 2018).

FIGURA 7 - Classificação das amêndoas (fonte: Queen Nut Macadamia, 2019).

No processamento da macadâmia existe o aproveitamento de subprodutos, como o carpelo e a casca. O carpelo é triturado e compostado e utilizado como adubo orgânico (NETO & NOGUEIRA, 2010). A casca dura suporta altas temperaturas e é usada principalmente como combustível para fornos de queima. Quando a casca é moída até um pó fino, os grânulos resultantes são extremamente duros. Este pó pode ser usado como um abrasivo industrial sendo superior à areia para jateamento. Também

pode ser comercializado para a indústria de cosméticos como o ingrediente ativo na esfoliação da pele do rosto (MACADAMIAS SOUTH AFRICA, 2017).

A classificação das amêndoas separa as de primeira qualidade, que são embaladas e enviadas para comercialização (FIG 8), e as amêndoas quebradas, destinadas como ingredientes para utilização na indústria alimentícia em bolos, biscoitos, chocolates e sorvetes. As amêndoas podem ser comercializadas cruas ou torradas (GARCIA, 2010).

FIGURA 8 - Processamento da noz macadâmia (adaptado de AUSTRALIAN MACADAMIAS, 2019).

As amêndoas que não são destinadas à comercialização por não apresentarem boa aparência (FIG 9) são utilizadas para extração de óleo por prensagem a frio, em uma única etapa. Na FIG 10 é mostrada a prensa e a extração de óleo de macadâmia (SOBIERAJSKI et al., 2006; SARKIS, 2014). Na FIG 11 é mostrado o resíduo resultante da extração de óleo de macadâmia, após a prensagem, também conhecido como farinha ou torta.

FIGURA 9 - Amêndoas que não apresentam boa aparência utilizadas para extração de óleo (Foto: Ina Paola Rao, 2015).

FIGURA 10 - Extração de óleo de macadâmia (fotos cedidas pela Empresa Queen Nut Macadâmia, 2017).

FIGURA 11 - Resíduo resultante da extração de óleo de macadâmia (foto cedida pela Empresa Queen Nut Macadâmia, 2017).

Segundo Pedro Toledo Piza, diretor da Queen Nut Macadâmia, na empresa, após a prensagem, o resíduo resultante da extração de óleo de macadâmia não possui valor comercial.

3.2 Microbiologia da macadâmia

Os alimentos, de maneira geral, são facilmente contaminados por microrganismos na natureza, em sua manipulação e no processamento. Quando um alimento é contaminado por um microrganismo ele serve como meio para seu crescimento. Os microrganismos podem mudar as características do alimento, alterando suas propriedades sensoriais, isto é, características percebidas pelos sentidos humanos (cor, sabor, aroma, etc.) e também podem representar um risco à saúde sendo responsáveis por intoxicações ou infecções (FORSYTHE, 2013).

Os principais microrganismos encontrados em alimentos são os fungos (bolores e leveduras), bactérias e vírus. Hui (2006) classificou os microrganismos em:

I - Microrganismos que causam alterações prejudiciais nos alimentos e que causam deterioração. A deterioração microbiana altera as propriedades sensoriais.

II - Microrganismos que representam risco a saúde. Os microrganismos que representam risco à saúde são genericamente denominados patogênicos. Os alimentos podem ser contaminados por microrganismos patogênicos durante seu manuseio, processamento, armazenamento ou distribuição. A presença destes microrganismos em um alimento indica condições de higiene insatisfatórias.

III - Microrganismos que causam alterações benéficas nos alimentos. São os microrganismos presentes naturalmente no alimento ou que foram adicionados ao alimento intencionalmente. O processamento de alimentos fermentados é um exemplo da utilização destes microrganismos.

Para que os microrganismos cresçam em um alimento, eles dependem de fatores intrínsecos, isto é, fatores relacionados com o próprio alimento e de fatores extrínsecos, fatores relacionados com o ambiente em que o alimento está. Os fatores intrínsecos são a acidez (pH), a atividade de água (A_w), o potencial de oxi-redução (Eh), a composição química, a presença de antimicrobianos naturais e as interações com os demais microrganismos presentes nos alimentos. Os fatores extrínsecos são a umidade e a temperatura relativa do ambiente e a composição química da atmosfera onde o alimento se encontra. (BREDA, 1998; TORTORA et al., 2012).

As melhores condições para o crescimento dos microrganismos são a baixa acidez, a alta atividade de água e o alto potencial de oxi-redução (ALISSON, 2017). Dos fatores intrínsecos, a composição química favorece o crescimento dos

microrganismos quando existem nutrientes como água, carbono, nitrogênio, vitaminas e sais minerais no alimento. Dependendo dos nutrientes presentes no alimento, pode-se prever quais microrganismos terão maior possibilidade de crescimento. Por exemplo, os bolores e leveduras e algumas bactérias têm maior possibilidade de crescimento em alimentos ricos em gorduras, como as nozes.

Dentre os fatores extrínsecos pode-se destacar as condições de armazenamento dos alimentos, sendo este um fator crítico na qualidade das nozes, afetando sua vida de prateleira. Nozes armazenadas em condições satisfatórias como baixa umidade e temperatura, possuem melhor qualidade nutricional e podem proporcionar benefícios à saúde do consumidor (GAMA et al., 2018).

Os microrganismos indicadores do estado higiênico-sanitário dos alimentos são aqueles que, quando presentes em um alimento, fornecem informações sobre a deterioração do alimento e risco à saúde devido à presença de patógenos, ocorridos durante o manuseio, processamento e / ou armazenamento (FRAZIER & WESTHOFF, 1993).

A *International Commission on Microbiological Specifications for Foods* (1984), classifica os microrganismos indicadores em: (1) microrganismos que não oferecem diretamente risco a saúde: contagem padrão de mesófilos, psicrotróficos, termófilos e bolores e leveduras; (2) microrganismos que oferecem risco a saúde: Coliformes totais, Coliformes fecais, Enterococos, Enterobactérias totais, *Escherichia coli*, e *Staphylococcus aureus*.

Os alimentos, crus ou processados, estão em constante atividade biológica, alterações químicas, físicas ou microbiológicas que os levam naturalmente à deterioração. Alimentos ricos em gordura e média umidade, como a macadâmia, estão propensos a rancificação, alterações correspondentes ao ganho de umidade e à contaminação por microrganismos (LIMA, 1997).

A presença de coliformes totais em um alimento não é, por si só, um indicador de contaminação fecal. Entretanto, quando existe um número elevado de coliformes totais, pode indicar condições insatisfatórias no processamento devido à matéria prima ou equipamentos utilizados na industrialização, no armazenamento ou distribuição. Neste caso, as práticas de higiene devem ser revistas.

São chamados de coliformes totais as bactérias das famílias *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter* e *Klebsiella*. Dentre estas famílias o indicador clássico de contaminação fecal é a *Escherichia coli*, pois tem como habitat primário o trato intestinal do homem e animais de sangue quente. A *Escherichia coli* é detectada quando coliformes totais são incubados à temperatura entre 44 a 45,5 °C (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 2001; SILVA JUNIOR 2002).

A análise microbiológica de coliformes totais e *Escherichia coli* é realizada com o objetivo de se obter informações sobre contaminação fecal, presença de patógenos e qualidade higiênico-sanitária do alimento e é empregada em uma vasta gama de alimentos (SILVA et al., 2001).

Os microrganismos indicadores gerais de contaminação do alimento são aqueles que, quando presentes em um alimento em número elevado, causam alterações prejudiciais nos alimentos e sua deterioração, diminuindo sua qualidade nutricional e vida de prateleira. A análise microbiológica destes microrganismos é realizada com o objetivo de obter informações sobre as condições gerais higiênico-sanitária do alimento, cru ou processado (EVANGELISTA, 2008).

No presente trabalho foram utilizadas a Contagem de Bactérias Aeróbias Mesófilas e a Contagem de Bolores e Leveduras como indicadores gerais de contaminação da macadâmia.

Um número elevado na contagem de bactérias aeróbias mesófilas em um alimento indica condições higiênico-sanitária insatisfatórias. Neste caso, o alimento estará impróprio para o consumo. Em alimentos não perecíveis, a contagem elevada pode indicar matéria prima contaminada ou processamento deficiente, considerando as práticas higiênico-sanitárias. Em alimentos perecíveis, indica condições deficientes de armazenamento. Se a contagem de bactérias aeróbias mesófilas nos alimentos for superior a 10^6 UFC/g, o alimento apresenta deterioração e alterações sensoriais perceptíveis. UFC é a sigla para unidade formadora de colônias e é utilizada em microbiologia para expressar o número de fungos ou bactérias viáveis, isto é, o número de células capazes de formar colônias num meio de cultura com composição adequada (FRANCO & LANDGRAF, 2008).

Souza et al. (1986) realizaram análises físico-químicas e microbiológicas em farinhas de castanha do Brasil, desengorduras e torradas, com umidade entre 3,25 e

3,92 % no período de armazenamento. A contagem de bactérias aeróbias mesófilas foi de 1,6 a $7,0 \times 10^4$ UFC/g. A contagem de bolores e leveduras foi de $1,9 \times 10^4$ UFC/g. A contagem total de bactérias termófilas, proteolíticas e lipolíticas foi ausente. A contagem dos microrganismos na farinha de castanha do Brasil foi atribuída às condições de manipulação após a industrialização. De acordo com os autores, elevadas contagens de mesófilos podem indicar a presença de patógenos, considerando que todos os microrganismos patogênicos de origem alimentar são mesófilos.

Um número elevado na contagem de fungos (bolores e leveduras) nos alimentos pode indicar matéria prima contaminada, condições insatisfatórias de processamento e armazenamento sob o ponto de vista higiênico-sanitário, como também pode oferecer risco à saúde, devido à produção de micotoxinas (SIQUEIRA, 1995).

Os bolores, devido ao fato de serem, em sua maioria, aeróbios, limitam seu crescimento à superfície dos alimentos, onde se encontram em contato com o ar. São menos exigentes que as leveduras e que as bactérias em relação à temperatura, umidade, pH e nutrientes.

As leveduras requerem mais umidade que a maioria dos bolores e menos umidade que a maioria das bactérias. As melhores condições para seu crescimento são em temperatura entre 25°C e 30°C e pH ácido. Seu crescimento é favorecido em aerobiose, no entanto, em anaerobiose, são favorecidos os tipos fermentativos.

Alimentos como frutas frescas, vegetais e cereais com pH ácido e baixa atividade de água, propiciam o crescimento de bolores e leveduras, os deteriorando. Alimentos ricos em gordura e baixa umidade como nozes e castanhas não estão propensos à deterioração. No entanto, se estes alimentos estiverem armazenados em ambientes com alta umidade, pode ocorrer o crescimento de bolores e a produção de micotoxinas, como por exemplo, as aflatoxinas (GERMANO & GERMANO, 2001).

Freire & Offord (2002) realizaram análises microbiológicas em castanhas cruas de caju e do Brasil e obtiveram contagem de leveduras superiores a 10^4 UFC/g. A contagem elevada foi atribuída ao ambiente onde se encontravam as castanhas e à manipulação para extração em condições insatisfatórias de higiene.

Estudo realizado por Walton & Wallace (2011) concluiu que a qualidade da noz macadâmia depende principalmente das boas práticas pós-colheita. Os autores recomendam manter a umidade menor que 10 % para evitar contaminação por fungos.

Um estudo realizado por Schneider et al. (2012) concluiu que as condições climáticas favoráveis para o cultivo da noz macadâmia são a precipitação pluviométrica superior a 1.000 mm anuais e temperatura entre 20 °C e 25 °C. Estas condições também são favoráveis para o crescimento de fungos.

Estima-se que 25 % das plantações mundiais sejam afetadas pelo crescimento de fungos (BRYDEN, 2007). Considerando-se que durante o processamento da macadâmia o alto teor de umidade acelera a germinação e eleva consideravelmente a porcentagem de nozes mofadas, e considerando também o processo de prensagem, foram realizadas análises de bolores e leveduras.

A legislação brasileira não determina limites de tolerância para a contagem total de bolores e leveduras. Entretanto, embora não esteja mais vigente, a Portaria nº 451 (BRASIL, 1997) estabelecia critérios e padrões microbiológicos aos alimentos, em seu grupo XI – alimentos sólidos prontos para o consumo, letra a) sementes comestíveis cruas, torradas, salgadas, além dos limites para Coliformes e *Salmonella sp*, estabelecia limite máximo aceitável de 5×10^3 /g de Bolores e Leveduras.

Os microrganismos que representam risco a saúde são genericamente denominados patogênicos. Os riscos à saúde de origem alimentar causados por microrganismos podem ser:

I - Intoxicações alimentares: quando um microrganismo patogênico existente no alimento ingerido produz toxinas.

II - Infecções alimentares: quando existem no alimento células viáveis de microrganismos patogênicos.

Os microrganismos patogênicos são classificados em: bactérias Gram-positivas; bactérias Gram-negativas; fungos produtores de micotoxinas e vírus (ARAÚJO, 2010).

Neste trabalho será abordada a *Salmonella* como microrganismo patogênico indicador de risco de contaminação na macadâmia.

O gênero *Salmonella* pertence à família *Enterobacteriaceae* e compreende bacilos Gram-negativos não produtores de esporos, anaeróbios facultativos. As condições mais favoráveis para o crescimento das salmonelas são pH igual a 7,0, sendo que valores superiores a 9,0 e inferiores a 4,0 são bactericidas. Multiplicam-se numa

ampla faixa de temperatura de 5 °C a 47 °C, sendo a temperatura mais favorável entre 35 °C e 37 °C (D'AOUST et al., 2007). A investigação de *Salmonella* possui caráter qualitativo e não quantitativo, isto é, não pode haver nenhuma unidade formadora de colônia em 25 gramas de alimento (SILVA et al, 2017).

Em casos de doenças de origem alimentar, tanto no Brasil como em diversos países, geralmente a *Salmonella* está envolvida. São casos de intoxicação alimentar causados pela ingestão de alimentos contaminados por *Salmonella*. A *Salmonella* também é responsável por doenças como a febre tifoide, as febres entéricas e as enterocolites por *Samonella* (HAZELWOOD & McLEAN, 1994).

Freire & Offord (2002) realizaram estudos em amêndoas de castanha de caju e castanha do Brasil onde foram encontrados 13 gêneros de bactérias. Foram detectados *Bacillus*, *Salmonella typhimurium* e *Staphylococcus aureus*.

Bacillus cereus é bacilo Gram-positivo grande, aeróbio, mesófilo, com flagelos peritríquios, e produtor de esporos que podem ser centrais ou subterminais. É largamente distribuído na natureza, sendo o solo o seu reservatório natural. Por esta razão, contamina facilmente alimentos como vegetais, cereais, condimentos, etc.

A maioria das cepas de *B. cereus* é capaz de produzir uma série de metabolismos extracelulares, como a toxina diarréica e a toxina emética, que se manifestam quando um alimento contém número elevado de células viáveis de *B. cereus* (entre 10^7 e 10^9 células).

3.2.1 Padrões microbiológicos para nozes, amêndoas, amendoim e similares, cruas, inteiras ou descascadas

Os critérios microbiológicos para avaliação da qualidade dos alimentos podem ser obrigatórios ou de orientação. Os critérios microbiológicos de orientação indicam a qualidade do alimento sob o ponto de vista do processamento, armazenamento e distribuição. Os critérios obrigatórios definem um padrão microbiológico e podem ser determinados por legislação em âmbito internacional, federal, estadual e municipal (FRANCO & LANDGRAF, 2008). Em nível internacional, os critérios são definidos pela Comissão do Codex Alimentarius, por meio do programa conjunto FAO / WHO (Joint FAO / WHO Food Standards Program).

No Brasil, os padrões microbiológicos para alimentos são definidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), na Resolução nº 12 (BRASIL, 2001a) “Considerando a necessidade de constante aperfeiçoamento das ações de controle sanitário na área de alimentos, visando a proteção à saúde da população e a regulamentação dos padrões microbiológicos para alimentos”. Para o enquadramento da macadâmia e do resíduo da macadâmia, a resolução estabelece os critérios de padrões microbiológicos sanitários em alimentos, no Grupo de alimentos: 1 FRUTAS, PRODUTOS DE FRUTAS e SIMILARES; letra d) nozes, amêndoas, amendoim e similares, cruas, inteiras ou descascadas, destacados na TAB 5. De acordo com a resolução, o resultado da determinação de *Salmonella sp* deve ser expresso como Presença, que deve ser abreviado "pres", ou Ausência que deve ser abreviado "aus". Ainda de acordo com a resolução, amostra indicativa é a amostra composta por um número de unidades amostrais inferior ao estabelecido em plano amostral constante na legislação específica e amostra representativa é a amostra constituída por um determinado número de unidades amostrais estabelecido de acordo com o plano de amostragem.

TABELA 5 - Padrões microbiológicos (BRASIL, 2001a).

grupo de alimento	microrganismo	Tolerância para amostra indicativa	Tolerância para amostra representativa			
1 FRUTAS, PRODUTOS DE FRUTAS e SIMILARES						
d) nozes, amêndoas, amendoim e similares, cruas, inteiras ou descascadas	Coliformes a 45 °C	10 ³	5	2	10 ²	10 ³
	Salmonella sp/25g	Aus	5	0	Aus	

Considerando as características da noz macadâmia, e do resíduo resultante da extração de óleo de macadâmia, os ensaios selecionados para este estudo foram Coliformes a 45°C, *Salmonella sp*, *Escherichia Coli*, obrigatórios para atendimento à legislação, e Contagem Total de Bactérias e Leveduras e Contagem Total de Aeróbios Mesófilos para fornecer informações sobre as condições higiênico-sanitárias do processamento e armazenamento. Os resultados dos ensaios fornecerão informações

sobre a segurança alimentar, aumentando a vida de prateleira, permitindo sua comercialização e aumentando o valor agregado do produto.

3.3 Irradiação de alimentos

A irradiação de alimentos é o processo onde produtos alimentícios são expostos a doses de radiação adequadas com o objetivo de preservá-los eliminando insetos ou reduzindo a carga microbiana. O tratamento de alimentos utilizando radiações ionizantes tem diversas aplicações comprovadas: inibição da germinação de tubérculos, garantia da segurança microbiológica, redução de microrganismos patogênicos, conservação de alimentos armazenados aumentando sua vida de prateleira (DIEHL, 2002; ARANHA et al., 2017). Na TAB 6 podem ser observados os objetivos da irradiação de alimentos e as doses empregadas.

TABELA 6 - Doses de radiação recomendadas para vários objetivos (compilado por MASTRO, 2015).

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

Na produção de alimentos, as perdas pós-colheita podem ser atribuídas a inúmeros fatores: umidade, temperatura, CO₂ e O₂ e a presença de insetos e microrganismos. Nozes e grãos podem ser contaminados com patógenos de origem alimentar em qualquer estágio durante a produção, armazenamento e distribuição (BRAR & DANYLUK, 2018). Há muitas maneiras de garantir a segurança alimentar com processamentos térmicos, como a pasteurização, e não térmicos, como a utilização

de ultrassom, ultravioleta e a utilização de produtos químicos (VAN IMPE et al., 2018). A irradiação é um processo que não envolve aumento de temperatura. Os alimentos que passam por processos de irradiação retêm melhor sabores e aromas que seriam diminuídos por outros métodos de processamento, como o aquecimento (RAVINDRAN & JAISWAL, 2019). O óxido de etileno é comumente utilizado como tratamento químico para reduzir as populações microbianas em amêndoas (SAUNDERS et al., 2018), entretanto, é identificado como provável carcinogênico humano. A radiação ionizante aparece então como uma boa alternativa.

Poucos trabalhos foram publicados estudando os efeitos da radiação ionizante em nozes. Alguns exemplos da literatura são o trabalho de Wilson-Kakashita et al. (1995) em nozes inglesas, Freire & del Mastro (2000) em amêndoas e castanhas de cajueiro, Taipina et al. (2009) em nozes pecan e Assunção et al. (2015) sobre castanha do Brasil.

Inúmeros estudos têm sido publicados que comprovam a efetividade da irradiação de alimentos como aliada na redução de perdas e aumento de oferta de alimentos para a população, contribuindo para a economia de um país. Entretanto, muitas pessoas ainda se opõem, por falta de conhecimento, à utilização de radiações ionizantes, principalmente quando o produto irradiado é um alimento. Consumidores mal informados associam erroneamente alimentos irradiados a alimentos radioativos ou contaminados. Esta é uma questão que requer informação adequada para que o consumidor conheça as vantagens e limitações da irradiação de alimentos (ORDONEZ, 2007; MASTRO, 2015; LEVY et al., 2018).

Mais de 50 países aprovaram o uso de irradiação para pelo menos uma classe de alimentos ou alimentos com uma dose máxima dependente da finalidade do tratamento. Aproximadamente 30 países dispõem de instalações que irradiam alimentos estimados em 1 milhão de toneladas por ano. Exemplos de alimentos irradiados comercializados internacionalmente são especiarias e frutas tratadas para fins fitossanitários ou de quarentena. A aceitação da irradiação de alimentos não é uniforme no mundo. A utilização da tecnologia está diminuindo na Europa, aumentando lentamente nos EUA e aumentando substancialmente em partes da Ásia (DIEHL, 2002; ROBERTS, 2014; IHSANULLAH & RASHID, 2017).

Existe uma relação entre maior conhecimento sobre uma tecnologia e uma atitude mais positiva do consumidor. Esta atitude positiva na aceitação de novos

processamentos de alimentos é importante porque afeta diretamente o mercado. Rusin et al. (2015) realizaram estudo sobre o conhecimento do consumidor sobre alimentos irradiados e concluíram que o desconhecimento da população é a grande barreira e que, com a devida informação, o consumidor estaria disposto a consumir alimentos irradiados. Diversas pesquisas sobre os benefícios e limitações da tecnologia estão sendo realizadas e disponibilizadas para o governo e agências regulatórias, indústrias e consumidores. É tempo de construir pontes entre a comunidade científica e os consumidores leigos oferecendo uma nova perspectiva sobre as aplicações pacíficas das radiações ionizantes (TEISL et al., 2009; LEVY et al., 2018).

3.3.1 Legislação sobre a irradiação de alimentos

A utilização da radiação ionizante em alimentos teve início na sequência da descoberta dos raios X, em 1895. No entanto, somente na segunda metade do século XX tiveram início o desenvolvimento de equipamentos em escala industrial e a utilização do processo de irradiação comercialmente. As primeiras legislações sobre irradiação de alimentos no Brasil datam de 1973, entretanto, as primeiras irradiações de alimentos somente foram autorizadas em 1980 e ainda são pouco utilizadas atualmente (KUME et al., 2009; MASTRO, 2015).

A Comissão do Codex Alimentarius da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO) e da Organização Mundial da Saúde (OMS) foi criada para implementar um programa conjunto com objetivo de proteger a saúde dos consumidores e garantir boas práticas na comercialização de alimentos. Em 1983 a comissão adotou um Padrão Geral para Alimentos Irradiados (General Standard For Irradiated Foods) e em 1984, o Código Internacional Recomendável de Prática para a Operação de Instalações de Radiação usadas para o Tratamento de Alimentos (Recommended International Code of Practice for the Operation of Radiation Facilities Used for the Treatment of Foods). Este Código considerou recomendações de especialistas da FAO / OMS / IAEA (Agência Internacional de Energia Atômica) que reconhecem que os alimentos irradiados de acordo com boas práticas de produção (GMP) são adequados para o consumo humano sob os pontos de vista nutricional e de segurança a uma dose de 10 kGy sem, entretanto, considerar tóxicos limites superiores (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 1984).

No Brasil a ANVISA aprovou em 2001 o Regulamento Técnico para Irradiação de Alimentos (BRASIL, 2001b) com o objetivo de “estabelecer os requisitos gerais para o uso da irradiação de alimentos com vistas à qualidade sanitária do produto final”. A ANVISA define a irradiação de alimentos como “o processo físico de tratamento que consiste em submeter o alimento, já embalado ou a granel, a doses controladas de radiação ionizante, com finalidades sanitárias, fitossanitária e ou tecnológica”. O Regulamento autoriza as seguintes fontes de radiação para aplicação em alimentos:

- a) Isótopos radioativos emissores de radiação gama: ^{60}Co e ^{137}Cs ;
- b) Raios X gerados por máquinas que trabalham com energias de até 5 MeV;
- c) Elétrons gerados por máquinas que trabalham com energias de até 10 MeV.

A irradiação gama é o método preferido de irradiação de alimentos devido à emissão contínua de raios a uma taxa previsível (HALLMAN, 2017). A regulamentação brasileira não faz restrições de alimentos a serem irradiados nem as doses de irradiação a serem utilizadas, mas estabelece que:

- a) A dose mínima absorvida deve ser suficiente para alcançar a finalidade pretendida;
- b) A dose máxima absorvida deve ser inferior àquela que comprometeria as propriedades funcionais e ou os atributos sensoriais do alimento.

3.3.2 Processo de irradiação de alimentos

O processo de irradiação de alimentos é realizado em equipamentos específicos, e todas as etapas são controladas e monitoradas a fim de garantir a segurança do meio ambiente, dos profissionais envolvidos e dos produtos irradiados.

O processo de irradiação de alimentos utiliza fontes radiativas, por exemplo, de ^{60}Co , ou equipamentos como aceleradores de partículas que produzem feixes de elétrons (FIG 12).

FIGURA 12 – Irradiadores: Fonte de ^{60}Co , Gammacell 220 (esquerda) e acelerador de elétrons Dynamitron, Radiation Dynamics (direita).

Quando um alimento é irradiado, ele recebe radiação de uma fonte emissora e sofre os efeitos que ela causa. O alimento não entra em contato com o material radiativo, e, desta forma, não existe risco de contaminação radiativa. Na irradiação de alimentos, os fatores que influenciam o processo são o tipo de radiação utilizada e a dose ou energia absorvida pelo produto, que dependem do tempo de exposição. A unidade de medida da dose de radiação no Sistema de Unidades Internacional (SI) é o Gray (Gy), que corresponde a uma energia absorvida de um joule por quilograma de produto ($1 \text{ Gy} = 1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$). Foi adotado como parte do SI pela 15ª Conferência Geral de Pesos e Medidas em 1975.

3.3.3 Efeito das radiações ionizantes nos microrganismos

Os microrganismos possuem geralmente alta sensibilidade à radiação ionizante. Esta sensibilidade é atribuída à sua estrutura física e composição química. A radiação necessária para inativar os microrganismos presentes em um alimento varia conforme a espécie e a carga microbiana inicial. Outros fatores que afetam a ação da radiação nos microrganismos são a umidade, temperatura, oxigênio, e o estado em que o alimento se encontra (congelado ou não) (BASSON, 1983; CASTRO et al., 2011).

Quando um alimento é irradiado, a irradiação ionizante danifica o DNA de modo que as células vivas são inativadas, impedindo o crescimento de microrganismos e a reprodução de insetos. Consequentemente, a irradiação elimina patógenos tais como *Salmonella* e *Escherichia coli*, e diminui o número de microrganismos responsáveis

pela deterioração dos alimentos. Sob o ponto de vista da alimentação saudável, a irradiação garante a segurança microbiológica controlando as doenças alimentares e contribui para a conservação dos alimentos prolongando sua vida de prateleira com a vantagem de não alterar a qualidade nutricional e sensorial (FARKAS, 2006; MASTRO, 2011).

A irradiação de alimentos tem como vantagens ser um processo seguro, ambientalmente limpo (não envolve produtos químicos ou resíduos químicos), penetrante (os alimentos podem ser tratados em sua embalagem final evitando a recontaminação), eficaz para um amplo espectro de alimentos que podem ser tratados crus, industrializados ou congelados, pois não aumenta significativamente a temperatura do produto irradiado (FARKAS, 1998; CASTRO et al., 2011).

3.4 Análise por ativação neutrônica aplicada à caracterização de minerais da macadâmia

Existem várias técnicas analíticas disponíveis para o estudo de minerais em alimentos. Uma delas é a análise por ativação neutrônica instrumental. A escolha da técnica depende das características do analito, como limites de detecção, exatidão e precisão (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2001; COSTA, 2007).

A análise por ativação neutrônica ou *Instrumental Neutron Activation Analysis (INAA)* é uma técnica analítica para determinação da composição química elementar, e possui características como alta sensibilidade ($\mu\text{g.g}^{-1}$ - ng.g^{-1}), boa precisão e exatidão, capacidade multielementar, limites de detecção da ordem de $\mu\text{g.g}^{-1}$ a ng.g^{-1} , utilização de pequena quantidade de amostra, manipulação mínima de amostras, capacidade de analisar a amostra sem preparo químico prévio à análise. Desta forma, a técnica de INAA é utilizada com eficácia para análises multielementares quali e quantitativas dos elementos principais, elementos menores e elementos traço, sendo capaz de determinar cerca de 70 % dos elementos químicos da Tabela Periódica e sendo a maioria dos elementos passível de serem ativados por nêutrons térmicos (GLASCOCK, 2004).

A INAA tem sua aplicação nas mais variadas áreas tecnológicas: meio ambiente, biologia, geologia, agropecuária, arqueologia. Na área de alimentos, a técnica tem importância para avaliação nutricional, avaliação de elementos tóxicos, entre

outros. (PARRY, 2003; AVEGLIANO et al., 2011). A Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda a INAA como técnica analítica para as áreas de nutrição e saúde humana (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1996).

A análise por ativação neutrônica baseia-se na irradiação de uma amostra com nêutrons e subsequente medida da radioatividade induzida. Os reatores nucleares de pesquisa produzem nêutrons que podem ser classificados de acordo com sua energia em nêutrons rápidos, nêutrons intermediários e nêutrons térmicos. Na INAA são utilizados nêutrons térmicos devido ao seu maior fluxo (na faixa de 10^{11} a 10^{14} n cm⁻² s⁻¹) e alta secção de choque para vários elementos. A probabilidade de ocorrência da reação nuclear entre o núcleo alvo e o nêutron depende de características como a secção de choque a determinada energia de nêutrons, da sua abundância isotópica e da meia-vida do radionuclídeo produzido (SOETE et al., 1972; INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 1990).

Um procedimento de INAA é caracterizado por I – ativação da amostra via irradiação com nêutrons, II - medição da radiação gama após um ou mais intervalos de decaimento, e III - interpretação dos espectros de raios gama resultantes em termos dos elementos presentes e suas concentrações (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 1999). Na FIG 13 é ilustrado o esquema da sequência de eventos na reação nuclear em uma análise por ativação neutrônica.

FIGURA 13 - Esquema da sequência de eventos na reação nuclear em análise por ativação neutrônica (adaptado de INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 1990).

Quando o núcleo alvo captura um nêutron durante a irradiação, dá início a uma reação nuclear. Imediatamente após a captura, forma-se um núcleo composto em estado excitado. O tempo de vida do núcleo composto é da ordem de 10^{-16} a 10^{-14} s. Os núcleos excitados decaem liberando o excesso de energia com a emissão de radiação gama e / ou partículas como nêutrons, prótons ou partículas alfa. Os raios gama emitidos são característicos para cada espécie de núcleo alvo possibilitando a determinação seletiva e simultânea de elementos. Assim, o método para a análise de elementos utiliza o princípio da medida da radiação gama característica por meio da espectrometria gama. A atividade de um radionuclídeo produzido em uma reação nuclear é uma medida direta da quantidade do elemento alvo presente na amostra irradiada. Usualmente o que se determina é a taxa de decaimento do elemento alvo. Dependendo da espécie do núcleo alvo, o decaimento poderá apresentar uma meia-vida de frações de segundo a centenas de anos (GLASCOCK, 2004; ALVES & MAIHARA, 2013).

No método comparativo na INAA a amostra e um padrão do elemento a ser determinado são irradiados simultaneamente. O fluxo de nêutrons térmicos incidentes no elemento, a secção de choque de captura de nêutrons térmicos, o tempo de irradiação, a eficiência do sistema de detecção e todas as outras variáveis associadas às contagens são constantes tanto para a amostra como para o padrão, tornando possível a determinação da concentração do elemento na amostra através de uma comparação entre as atividades induzidas na amostra e no padrão. De uma forma geral, a massa de uma amostra é medida e depois irradiada simultaneamente com um material cuja concentração do elemento a ser determinado já é conhecida (elemento padrão). Em seguida, obtém-se a taxa de contagem para a amostra e para o padrão utilizando-se um sistema de detecção. A comparação entre estas taxas de contagens é a base para o cálculo da concentração do elemento contido na amostra. A irradiação da amostra com nêutrons seguida de espectrometria de raios gama permite determinar elementos tais como Br, Ca, Cl, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Rb, Se e Zn em amostras de noz macadâmia e amostras de resíduo resultante da extração de óleo de macadâmia.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

As amostras de macadâmia destinadas à prensagem e do resíduo resultante da extração de óleo de macadâmia, foram fornecidas pela Empresa Queen Nut Macadamia, localizada em Dois Córregos, SP. As amostras provêm de vários cultivares plantados em um único pomar de *Macadamia integrifolia* com variedades havaianas, australianas e brasileiras. As amostras fornecidas são principalmente das cultivares HAES 741, HAES 660, HAES 344, variedades havaianas e da variedade brasileira IAC 4-12 B.

FIGURA 14 - Amostras do resíduo da extração de óleo de macadâmia identificadas de 1 a 8.

4.2 Irradiações

As amostras foram acondicionadas a vácuo em embalagens de polietileno e submetidas à irradiação no Centro de Tecnologia das Radiações (CTR), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN-SP), em fonte de Cobalto-60 Gammacell 220 da *Atomic Energy of Canada Ltd* (AECL) com doses de 0 a 7,5 kGy a temperatura ambiente.

4.3 Ensaios microbiológicos

Foram utilizados dois métodos: Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists (AOAC) International, e American Public Health Association (APHA).

Os ensaios microbiológicos foram realizados no Laboratório de Ensaios em Alimentos – LEA – no Instituto SENAI de Tecnologia em Alimentos e Bebidas (FIG 15), na Barra Funda, São Paulo.

FIGURA 15 - Laboratório de Microbiologia – Instituto SENAI de Tecnologia em Alimentos e Bebidas.

4.3.1 Ensaios microbiológicos - métodos AOAC

Para os ensaios microbiológicos realizados por métodos AOAC, as amostras foram acondicionadas a vácuo em embalagens de polietileno.

Para alimentos com baixa atividade de água considerados estáveis microbiologicamente, como a macadâmia, o transporte e estocagem podem ser realizados à temperatura ambiente, entretanto, devem ser protegidos contra a umidade. Recomenda-se ainda, analisar as amostras de alimentos o mais cedo possível (SILVA et al, 2017). Assim, as amostras foram mantidas em refrigerador à temperatura de 4°C e os ensaios foram realizados 24 horas após a irradiação das amostras. Foram analisadas a noz macadâmia e o resíduo. A noz macadâmia foi moída. Como as amostras eram homogêneas, nenhum outro tratamento foi necessário.

Os primeiros ensaios foram realizados por métodos AOAC, utilizando placas BioControl e Compact Dry. A utilização destas placas permite detectar e quantificar microrganismos em alimentos, e são indicadas para o controle do processo em si, e para o controle do produto final, determinando a qualidade e segurança de produtos alimentares.

O ensaio para *Salmonella sp* foi realizado pelo Official Methods of Analysis of AOAC International, Method nº 989.13 (1-2 test). Neste método é possível detectar espécies móveis de *Salmonella* na amostra. O método se baseia na imobilização da *Salmonella* no meio de motilidade através de anticorpos polivalentes H (flagelar). A imobilização das espécies móveis de *Salmonella* resulta na formação de uma banda visível bem definida.

Para a detecção e quantificação de coliformes totais, coliformes termotolerantes e *Escherichia Coli* foi utilizado o Official Methods of Analyses of AOAC International, Official Methods 991.14, utilizando placas SimPlate *Coliformes Totais* e *E. coli* Color Indicator (CEC-CI). Baseia-se na Tecnologia de Detecção Binária (BDT) que equaciona a presença de *Coliformes Totais* com a mudança de coloração do meio e a contagem de *E. coli* com a mudança de cor e fluorescência azulada devido a ação da enzima β -glucoronidase e MUG. A mistura da amostra com o meio foi adicionada na placa SimPlate e incubada por 24 horas. A contagem de *Coliformes Totais* e *E. coli* foi obtida pela contagem das cavidades que apresentaram mudança de cor e posterior utilização da tabela de conversão SimPlate. Cavidades coloridas indicam a presença de Coliformes Totais e cavidades coloridas que apresentaram fluorescência indicam a presença de *E. coli*.

Os ensaios de bolores e leveduras utilizaram o Official Methods of Analyses of AOAC International, Official Methods 997.02. O método SimPlate Bolores e Leveduras Color Indicator (YM-CI) foi utilizado para a detecção e quantificação de Bolores e Leveduras nas amostras. Da mesma forma, foi utilizada a Tecnologia de Detecção Binária (BDT) que equacionou a presença de Bolores e Leveduras com a mudança de coloração do meio. A amostra foi adicionada ao meio e dispensada na placa SimPlate, incubada por 48 horas. O meio com mudança de cor indicou a presença de bolores e/ou leveduras. A contagem de Bolores e Leveduras foi obtida pela contagem das cavidades que apresentaram mudança de cor e posterior utilização da tabela de conversão SimPlate.

O método SimPlate Contagem Total de Bactérias Color Indicator (TPCCI) foi utilizado para a detecção e quantificação de Microrganismos Aeróbios Totais, baseado no Official Methods of Analyses of AOAC International, Official Methods 991.14. Com a Tecnologia de Detecção Binária (BDT), a mudança de coloração no meio indicou a presença de microrganismos aeróbios totais. A mistura da amostra com o meio foi adicionada na placa, e incubada por 24 horas. A Contagem Total de Bactérias foi obtida pela contagem das cavidades que apresentaram mudança de cor e posterior utilização da tabela de conversão SimPlate.

Os ensaios de *Bacillus cereus* seguiram a ISO 7932:2004. Foram utilizadas placas Compact Dry X-BC para *Bacillus cereus*, que permitem detectar e quantificar microrganismos, indicadas para o controle do processo em si, e para o controle do produto final. A amostra foi colocada na placa e incubada, conforme instruções do fabricante. As bactérias desenvolveram-se com cores específicas, possibilitando sua distinção e identificação.

4.3.2 Ensaios microbiológicos - métodos APHA

Além dos ensaios realizados utilizando métodos AOAC, também foram realizados ensaios pelo método de contagem em placas, por métodos da American Public Health Association (APHA), exposto no Compendium of Methods for Microbiological Examination of Food, descritos no Manual de Métodos de Análise Microbiológica de Alimentos (SILVA et al., 2001). Foram realizados ensaios de Coliformes 45°C e *Escherichia Coli*, Contagem de bolores e leveduras e Contagem total de aeróbios mesófilos.

Para os ensaios microbiológicos realizados por métodos APHA do resíduo de macadâmia, as amostras foram submetidas à irradiação com doses de 0; 2,5; 5 e 7,5 kGy, com taxa de dose de 0,7 kGy/h.

Foram analisadas uma amostra de noz macadâmia e quatro amostras do resíduo. As amostras foram mantidas em refrigerador à temperatura de 4°C e analisadas 20 horas após a irradiação. A noz macadâmia foi moída. Como as amostras eram homogêneas, nenhum outro tratamento foi necessário.

Os ensaios microbiológicos podem ser qualitativos, que indicam a presença ou ausência do microrganismo, e ensaios quantitativos, que determinam a quantidade do

microrganismo alvo. Cada ensaio depende do microrganismo de interesse, entretanto a maioria deles utiliza técnicas culturais básicas de microbiologia. As técnicas básicas são a detecção da presença / ausência; contagem do Número Mais Provável (NMP); e contagem padrão em placas.

Para os ensaios, os meios de cultura foram esterilizados em autoclave, e a vidraria e demais utensílios foram esterilizados em estufa. Placas controle de contaminação foram utilizadas com a finalidade de monitorar a contaminação do ambiente, equipamentos, reagentes, etc. São placas com meio de cultura não inoculadas que seguem todas as etapas da análise juntamente com as placas inoculadas. Quando a contagem das placas controle de contaminação for zero, existe a garantia que os resultados das contagens das placas com as amostras são inerentes somente à quantidade de microrganismos existentes na amostra. Depois de realizados os ensaios, todo o material foi submetido à esterilização em autoclave, para descontaminação.

Os ensaios de coliformes totais, coliformes termotolerantes e *Escherichia Coli* foram realizados utilizando-se a técnica do Número Mais Provável (NMP) que determina a quantidade do microrganismo alvo. A técnica NMP aplica-se a amostras de matérias-primas e alimentos, devendo ser utilizada quando o limite máximo tolerado for inferior a 100 UFC/g ou ml. É um método de contagem estatístico, utilizado para contagem de bactérias. Assim, foi determinado o número mais provável de coliformes totais e coliformes termotolerantes nas amostras de macadâmia.

As etapas analíticas por NMP podem ser divididas em:

I - Teste presuntivo ou prova presuntiva: Baseia-se na inoculação da amostra em caldo lauril sulfato de sódio, onde a presença de coliformes é evidenciada pela formação de gás nos tubos de Durham, produzido pela fermentação da lactose contida no meio. A seletividade do meio se deve à presença do lauril sulfato de sódio, um agente surfactante aniônico que atua na membrana citoplasmática de microrganismos Gram positivos, inibindo o seu crescimento.

II - Teste confirmatório ou prova confirmativa para coliformes totais: A confirmação da presença de coliformes totais é feita por meio da inoculação dos tubos positivos para a fermentação de lactose em caldo verde brilhante bile lactose 2 % e posterior incubação a 36 ± 1 °C. A presença de gás nos tubos de Durham evidencia a fermentação da lactose presente no meio. O caldo verde brilhante bile lactose 2 %

apresenta, em sua composição, bile bovina e um corante derivado do trifenilmetano (verde brilhante), responsáveis pela inibição dos microrganismos Gram positivos.

III - Teste confirmatório ou prova confirmativa para coliformes termotolerantes (Coliformes 45 °C): A confirmação da presença de coliformes termotolerantes é feita por meio da inoculação em caldo *E.coli* (EC), com incubação em temperatura seletiva de $45 \pm 0,2$ °C em banho-maria, a partir dos tubos positivos obtidos na prova presuntiva. A presença de gás nos tubos de Durham evidencia a fermentação da lactose presente no meio. A seletividade do meio se deve à presença de sais biliares, responsáveis pela inibição dos microrganismos Gram positivos.

IV - Leitura de resultados: A combinação de tubos positivos e negativos na técnica do NMP permite estimar, por cálculo de probabilidade, a densidade do microrganismo alvo na amostra. Para as combinações de tubos positivos e negativos que ocorrem com maior frequência, os valores já foram calculados e tabulados. Os resultados são obtidos a partir da leitura da tabela estatística (TAB 7).

V - Teste identificação de *E. coli*: Nos casos positivos para Coliformes Termotolerantes, isto é, onde houve crescimento e produção de gás, procede-se a contagem de *E. coli*, realizada em placas contendo Ágar Levine Eosina Azul de Metileno (L-BEM). A confirmação bioquímica das colônias suspeitas é feita através da série IMViC: teste de citrato, teste de vermelho de metila e Voges Proskauer, teste de indol e coloração de Gram.

O resíduo foi analisado inoculando alíquotas das amostras, irradiadas a 0; 2,5; 5 e 7,5 kGy. As amostras foram preparadas por meio de diluições seriadas (FIG 16). Em capela de fluxo laminar, pesou-se 25 g de cada uma das três amostras e adicionou-se 225 ml de solução salina peptonada 0,1 %, homogeneizando por 60 segundos em “stomacher”. Esta foi a diluição 10^{-1} . Utilizando a técnica de diluição seriada, para a diluição 10^{-2} , 1 ml da diluição inicial (diluição 10^{-1}) foi adicionada em tubo contendo 9 ml de solução salina peptonada 0,1 %. Para a diluição 10^{-3} , 1 ml da diluição 10^{-2} foi adicionada em tubo contendo 9 ml de solução salina peptonada 0,1%.

FIGURA 16 - Diluição seriada 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} e 10^{-4} e ensaios em triplicata.

Para o teste presuntivo, a inoculação foi realizada adicionando-se 1 ml de cada uma das diluições, em triplicata, em tubos contendo 10 ml de Caldo Lauril Sulfato Triptose (LST), preparado conforme instruções do fabricante. As amostras foram incubadas nos tubos a $35 \pm 0,5$ °C por 24 horas. Nos casos negativos, isto é, sem crescimento ou crescimento sem produção de gás, os mesmos foram reincubados por mais 24 horas.

Como não houve crescimento e produção de gás nos tubos, isto é, não houveram casos positivos, não se procederam aos testes confirmativos de Coliformes Totais, Coliformes Termotolerantes (Coliformes 45 °C) e Teste identificação de *E. coli*.

Os resultados foram obtidos a partir da combinação dos tubos que apresentaram resultado positivo, utilizando a tabela NMP. O arranjo de número de tubos positivos das 3 diluições é transposto para as tabelas estatísticas que apresentam o NMP para as diferentes combinações de tubos positivos e que também apresentam os limites de confiança dos NMP dos microrganismos pesquisados.

TABELA 7 - Número Mais Provável por grama ou ml, para séries de 3 tubos com inóculos de 0,1; 0,01 e 0,001 g ou ml e respectivos intervalos de confiança 95 % (BLODGETT, 2010).

Pos. Tubos			MPN/g	Conf. lim.		Pos. tubos			MPN/g	Conf. lim.	
0.10	0.01	0.001		Low	High	0.10	0.01	0.001		Low	High
0	0	0	<3.0	–	9.5	2	2	0	21	4.5	42
0	0	1	3.0	0.15	9.6	2	2	1	28	8.7	94
0	1	0	3.0	0.15	11	2	2	2	35	8.7	94
0	1	1	6.1	1.2	18	2	3	0	29	8.7	94
0	2	0	6.2	1.2	18	2	3	1	36	8.7	94
0	3	0	9.4	3.6	38	3	0	0	23	4.6	94
1	0	0	3.6	0.17	18	3	0	1	38	8.7	110
1	0	1	7.2	1.3	18	3	0	2	64	17	180
1	0	2	11	3.6	38	3	1	0	43	9	180
1	1	0	7.4	1.3	20	3	1	1	75	17	200
1	1	1	11	3.6	38	3	1	2	120	37	420
1	2	0	11	3.6	42	3	1	3	160	40	420
1	2	1	15	4.5	42	3	2	0	93	18	420
1	3	0	16	4.5	42	3	2	1	150	37	420
2	0	0	9.2	1.4	38	3	2	2	210	40	430
2	0	1	14	3.6	42	3	2	3	290	90	1,000
2	0	2	20	4.5	42	3	3	0	240	42	1,000
2	1	0	15	3.7	42	3	3	1	460	90	2,000
2	1	1	20	4.5	42	3	3	2	1100	180	4,100
2	1	2	27	8.7	94	3	3	3	>1100	420	–

A quantificação de bolores e leveduras foi realizada pelo método de contagem padrão em placas, com o plaqueamento em superfície, determinando-se o número de unidades formadoras de colônia (UFC). Foi utilizado o meio de cultura Potato Dextrose Agar (PDA) ou Ágar Batata Dextrose, preparado conforme instruções do fabricante, e acidulado até pH 3,5 com ácido tartárico 10 %. Foram preparadas placas de Petri com 20 ml de meio PDA em cada placa.

As amostras foram preparadas por meio de diluições seriadas. Em capela de fluxo laminar, pesou-se 25g de cada uma das três amostras e adicionou-se 225 ml de solução salina peptonada 0,1 %, homogeneizando por 60 segundos em “stomacher”. Esta foi a diluição 10^{-1} . Utilizando-se a técnica de diluição seriada, para a diluição 10^{-2} , 1ml da diluição inicial (diluição 10^{-1}) foi adicionada em tubo contendo 9 ml de solução salina peptonada 0,1 %. Para a diluição 10^{-3} , 1 ml da diluição 10^{-2} foi adicionada em tubo contendo 9 ml de solução salina peptonada 0,1 %.

A inoculação foi realizada adicionando 0,1 ml de cada uma das diluições, em triplicata, nas placas de Petri preparadas com o meio de cultura. O espalhamento da amostra na superfície foi realizado com auxílio da Alça de Drigalski. As amostras foram incubadas nas placas a 25 ± 1 °C por 5 dias em incubadora de B.O.D, sem inverter. A leitura foi realizada manualmente em placas que continham entre 15 e 150 unidades formadoras de colônias e o resultado expresso em UFC/g.

A contagem Total de Aeróbios Mesófilos em placas, também conhecida como Contagem Padrão em Placas, é o método mais utilizado como indicador geral de populações bacterianas em alimentos. Não diferencia tipos de bactéria, sendo utilizada para se obter informações gerais sobre a qualidade de produtos, práticas de manufatura, matérias primas utilizadas, condições de processamento, manipulação e vida de prateleira (SILVA et al, 2017).

Para o ensaio de contagem total de aeróbios mesófilos, foi utilizado o meio de cultura Plate Count Ágar (PCA) ou Ágar de Contagem Padrão, preparado conforme instruções do fabricante. Foram preparadas placas de Petri com 20 ml de meio PCA em cada placa. As amostras foram preparadas por meio de diluições seriadas. Em capela de fluxo laminar, pesou-se 25 g de cada uma das três amostras e adicionou-se 225 ml de solução salina peptonada 0,1 %, homogeneizando por 60 segundos em “stomacher”. Esta foi a diluição 10^{-1} . Utilizando a técnica de diluição seriada, para a diluição 10^{-2} , 1ml da diluição inicial (diluição 10^{-1}) foi adicionada em tubo contendo 9 ml de solução salina peptonada 0,1 %. Para a diluição 10^{-3} , 1 ml da diluição 10^{-2} foi adicionada em tubo contendo 9 ml de solução salina peptonada 0,1 %.

A inoculação foi realizada adicionando-se 0,1 ml de cada uma das diluições, em triplicata, nas placas de Petri preparadas com o meio de cultura. O espalhamento da amostra na superfície foi realizado com auxílio da Alça de Drigalski. As amostras foram incubadas nas placas invertidas a 35 ± 1 °C por 48 horas. A leitura foi realizada

manualmente em placas que continham entre 25 e 250 unidades formadoras de colônias e o resultado expresso em UFC/g. Na FIG 17 é apresentada a placa BioControl pelo método AOAC e contagem padrão em placas pelo método APHA.

FIGURA 17 - Ensaio de Mesófilos em placa BioControl (método AOAC) e em placa da diluição 10^{-3} , 0 kGy (método APHA).

4.4 Ensaio físico-químicos

As análises de composição centesimal e perfil de ácidos graxos foram realizadas no Laboratório de Ensaio em Alimentos – LEA – no Instituto SENAI de Tecnologia em Alimentos e Bebidas (FIG 18), na Barra Funda, São Paulo.

FIGURA 18 - Laboratório de Ensaio em Alimentos – LEA – no Instituto SENAI de Tecnologia em Alimentos e Bebidas.

Primeiramente foram analisadas amostras da noz macadâmia e do resíduo da extração de óleo de macadâmia. No segundo estudo, foram analisadas as amostras numeradas de 1 a 4, respectivamente irradiadas a 0; 0,5; 2,5 e 5 kGy. A noz macadâmia foi triturada. Como as amostras eram homogêneas, nenhum outro tratamento foi necessário. As análises foram realizadas em triplicata.

A umidade representa a água contida na amostra e corresponde à perda sofrida pelo produto quando aquecido. O resíduo obtido do aquecimento direto da amostra a 105 °C é chamado de resíduo seco. A análise de umidade foi realizada segundo os Métodos físico-químicos para análise de alimentos do Instituto Adolfo Lutz (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008), números 012/IV Perda por dessecação (umidade) – Secagem direta em estufa a 105 °C e 013/IV Perda por dessecação (umidade) – Secagem em estufa a vácuo (IAL 12 e 13/IV).

Foram utilizadas cápsulas de porcelana secas por 1 hora em estufa a 105 °C, resfriadas em dessecador e pesadas. Pesou-se 3 g de cada amostra na cápsula e anotada a massa. As cápsulas com as amostras foram colocadas na estufa a 105 °C por 3 horas, para realizar a secagem. Retirou-se as cápsulas da estufa, foram resfriadas em dessecador até a temperatura ambiente e pesadas. As operações de aquecimento (1 hora) e resfriamento (30 minutos) foram repetidas até peso constante.

Resíduo por incineração ou cinzas é o resíduo obtido por aquecimento de quantidade conhecida da amostra em temperatura próxima a (550-570) °C e geralmente representa a substância inorgânica presente na amostra. A análise de cinzas foi realizada segundo os Métodos físico-químicos para análise de alimentos do Instituto Adolfo Lutz (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008), número 018/IV Resíduo por incineração – Cinzas (IAL 018/IV).

Cadinhos de porcelana foram secos em estufa a 105 °C por 1 hora, incinerados em mufla a 550 °C por 1 hora, resfriados em dessecador e pesados. Pesou-se 3 g de cada amostra no cadinho de porcelana e anotada a massa. As amostras foram carbonizadas em chapa aquecedora até apresentarem cor ligeiramente acinzentada.

Os cadinhos foram colocados na mufla a 550 °C por 3 horas, resfriados em dessecador e pesados. As operações de calcinação (1 hora) e resfriamento (30 minutos) foram repetidas até peso constante.

Para a determinação de proteínas, o processo empregado foi o da determinação do nitrogênio e posterior conversão em proteína. Utilizou-se o equipamento de Kjeldahl (FIG 19) que desloca o nitrogênio presente na amostra, transformando-o em sulfato de amônio, por meio de ácido sulfúrico (H_2SO_4), na forma de amônia. Deste sal obtido desloca-se o nitrogênio, através do hidróxido de sódio (NaOH), na forma de amônia. A amônia liberada do material digerido após adição de solução de NaOH concentrada e aquecimento, é recolhida num volume conhecido de solução de ácido bórico a 4 %m/v. O excesso foi titulado com solução ácida padronizada de HCl 0,1M.

A análise de proteína foi realizada segundo a AOAC Official Method 2001.11 – Protein (Crude) in Animal Feed, Forage (Plant Tissue), Grain, and Oilseeds.

FIGURA 19 - Conjunto analisador de proteína.

A análise de gorduras totais (lipídios) baseia-se na quantidade de lipídios extraída com solvente e posterior pesagem. A extração foi realizada num extrator intermitente, o aparelho de Soxhlet (FIG 20).

Pesou-se 5 g da amostra seca no papel de filtro, foi fechado e colocado dentro de um cartucho de extração, com um algodão em cima. Colocou-se o cartucho com a amostra no tubo de vidro do aparelho extrator previamente aquecido em estufa a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 1 hora, resfriado em dessecador e pesado. Acrescentou-se 140 ml de éter de petróleo. Os lipídios foram extraídos no aparelho extrator e, após a extração, evaporou-

se o resíduo em estufa a 105 °C, resfriado em dessecador e pesado. As operações de aquecimento (1 hora) e resfriamento (30 minutos) foram repetidas até peso constante.

A análise de gorduras totais foi realizada segundo os Métodos físico-químicos para análise de alimentos do Instituto Adolfo Lutz (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008), número 032/IV Lipídios ou extrato etéreo – Extração direta em Soxhlet.

FIGURA 20 - Sistema de extração de gordura.

Os lipídios das amostras foram submetidos à reação de transesterificação ou hidrólise e esterificação; os ésteres metílicos de ácidos graxos formados foram determinados por cromatografia em fase gasosa utilizando-se metiltridecanoato como padrão interno. O método permite uma separação quantitativa de misturas de ésteres metílicos de ácidos graxos saturados e insaturados, inclusive dos ácidos graxos trans. A quantificação foi feita baseada nas relações de área de cada ácido graxo com a área do padrão interno, utilizando-se os fatores de correção de resposta do detector de ionização de chama (DIC) e de conversão de ésteres metílicos de ácidos graxos para ácido graxo. A análise de determinação do perfil de ácidos graxos foi realizada segundo os Métodos físico-químicos para análise de alimentos do Instituto Adolfo Lutz (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008), número 053/IV Determinação da composição de ácidos graxos saturados e insaturados por cromatografia em fase gasosa e número 056/IV Preparação de ésteres metílicos de ácidos graxos – Método 3 e segundo AOAC Official Method 996.06. Fat (Total, Saturated, and Unsaturated) in Foods. Hydrolytic Extraction Gas Chromatographic Method.

O equipamento utilizado foi um cromatógrafo a gás (FIG 21), marca Shimadzu, modelo 2010, com detector de ionização de chama, acoplado com espectrômetro de massas modelo QP 20105, com coluna cromatográfica capilar de sílica fundida com fase estacionária de ciano propil siloxano de 100 m x 0,25 mm, nas seguintes condições de operação:

- Gás de arraste: Hélio
- Fluxo da coluna: 1,9 ml/min
- Razão de divisão de amostra: 1:50
- Velocidade linear constante
- Programação de temperatura: 45 °C, rampa de 11 °C/min até 165 °C permanecendo por 20 minutos, rampa de 1 °C/min até 215 °C permanecendo por 10 minutos
- Temperatura do detector: 250 °C
- Fluxo de gases: Makeup: 30 ml/min; Hidrogênio: 30 ml/min; Argônio: 300ml/min

FIGURA 21 - Cromatógrafo gás / massa.

Ao resíduo orgânico obtido em certas condições de extração, dá-se o nome de fibra. Em meados de 1975 foi desenvolvido o método enzimático-gravimétrico, que consiste em tratar o alimento com diversas enzimas fisiológicas, simulando condições do intestino humano, permitindo separar e quantificar gravimetricamente o conteúdo total da fração fibra e / ou as frações solúveis e insolúveis. A análise de fibras foi realizada segundo AOAC Official Method 991.43 Total, Soluble, and Insoluble Dietary Fibre in Foods. Enzymatic-Gravimetric Method, MES-TRIS Buffer.

A amostra foi seca durante a noite em estufa à vácuo a 70 °C e resfriada em dessecador. Como a macadâmia possui alto teor de gordura, a amostra foi desengordurada.

O cadinho foi deixado imerso em Extran a 2 % e seco por 1h em estufa a 105 °C. Deixou-se esfriar em dessecador por 45 min e pesado. Foram adicionados 0,5 g de celite aos cadinhos e seco em estufa a 105 °C por 1 h. Após seco em estufa, foi colocado na mufla a 525 °C por 5 h. Esse processo foi repetido até peso constante.

Pesou-se 1 g da amostra em duplicata. Adicionou-se 50 ml de solução tampão fosfato 0,08 M pH = 6,0. Adicionou-se 0,1 ml de solução α -amilase e deixou-se em ebulição em banho-maria por 30 min. Após resfriamento, adicionou-se 10 ml de solução NaOH 0,275 M e ajustou-se o pH para $7,5 \pm 0,2$ e então foi adicionado 0,1 ml de solução de protease.

A amostra foi incubada durante 30 min a 60 °C com agitação contínua. Adicionou-se 10 ml de solução de HCl 0,325M. Adicionou-se 0,3 ml de amiloglicosidase e incubou-se à 60 °C por 30 min com agitação contínua. Adicionou-se 280 ml de álcool etílico 95 %. A amostra foi mantida em repouso por 60 min para formação de precipitado.

No fundo dos cadinhos previamente preparados, foram distribuídas camadas de celite. A amostra foi então transferida para os cadinhos. Os cadinhos foram mantidos em estufa à vácuo a 70 °C durante a noite e pesados. Aos resultados das pesagens, foram subtraídos os pesos dos cadinhos e da celite.

O cálculo de carboidratos foi realizado de acordo com o Regulamento Técnico Sobre Rotulagem Nutricional de Alimentos Embalados disposto na resolução RDC Nº 360 (BRASIL, 2003). Os carboidratos foram calculados como a diferença entre 100 e a soma do conteúdo de proteínas, gorduras, fibra alimentar, umidade e cinzas.

A quantidade do valor energético foi calculada considerando os fatores de conversão indicados na resolução RDC Nº 360 (BRASIL, 2003): 1 g de proteína fornece 4 calorias, 1 g de gordura fornece 9 calorias e 1 g de carboidrato fornece 4 calorias.

4.5 Análise por ativação neutrônica

A análise por ativação neutrônica foi realizada no Laboratório de Análise por Ativação do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN-CNEN/SP). O equipamento de espectrometria gama utilizado (FIG 22) contava com detector de Ge hiperpuro da Canberra modelo GX2020, acoplado a um Processador de Sinal Integrado modelo 1510 e ao Sistema MCA 100, ambos de Canberra. O detector utilizado possui resolução (FWHM) de 1,0 keV para raios gama de 122 keV de ^{57}Co e 2,0 keV para raios gama de 1332 keV de ^{60}Co . A energia utilizada para cada elemento seguiu o procedimento analítico descrito por Amiel (1981).

FIGURA 22 - Equipamento de espectrometria gama.

Foram analisadas a noz macadâmia e o resíduo da extração de óleo de macadâmia. A noz macadâmia foi moída. Como as amostras eram homogêneas, nenhum outro tratamento foi necessário. Foram pesadas 150 g de cada amostra.

Foram pesadas cinco amostras de 700 mg da macadâmia moída e cinco amostras de 300 mg do resíduo, em envelopes de polietileno, previamente limpos com uma solução de HNO_3 (1:5).

Soluções padrão certificadas (Spex Certiprep) de Br, Ca, Cl, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Rb, Se e Zn foram usadas para preparar padrões sintéticos elementares. A qualidade dos padrões foi previamente verificada através da análise de materiais de referência. Aliquotas de 50-100 μl foram pipetadas em folhas de papel de filtro analítico Whatman N° 42 para irradiação. Após a secagem, esses papéis de filtro foram colocados em envelopes de polietileno.

Dois tipos de irradiações foram realizadas no reator nuclear de pesquisa IEA-R1 do IPEN-CNEN/SP. Primeiramente, a amostra e os padrões dos elementos Cl, Cu, Mg e Mn foram irradiados juntos em um recipiente de polietileno por 20 segundos. Após um tempo de decaimento de 2 minutos, o ^{38}Cl , ^{66}Cu e ^{27}Mg foram medidos na amostra e nos padrões. O ^{56}Mn foi medido após um tempo de decaimento de 90 minutos. Na segunda irradiação, a amostra e os padrões de Br, Ca, Co, Cr, Fe, K, Na, Rb, Se e Zn foram irradiados juntos em um recipiente de alumínio por 8 horas. O ^{82}Br , ^{47}Ca , ^{42}K e ^{24}Na foram medidos após um tempo de decaimento de 4 a 5 dias, enquanto o ^{60}Co , ^{51}Cr , ^{59}Fe , ^{86}Rb , ^{75}Se e ^{65}Zn foram medidos após um tempo de decaimento de 8 dias. O fluxo de nêutrons térmicos utilizado foi da ordem de $1 \times 10^{12} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Os espectros de raios gama foram processados usando software para espectroscopia gama e as concentrações dos elementos foram calculadas pelo método comparativo.

4.6 Análise estatística

Aos resultados obtidos foram aplicados o teste da Análise de Variância (ANOVA), a qual compara todas as médias em um único teste, objetivando identificar se existe diferença estatisticamente significativa entre os resultados. Caso esta diferença exista, aplicou-se, então, o teste Tukey, técnica de comparação múltipla, para identificar quais médias diferem entre si. Foi utilizado para todos os testes estatísticos o nível de confiança de 95%. O software empregado foi o PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Ensaio microbiológicos

Foram realizados dois estudos: o primeiro com o objetivo de caracterizar microbiologicamente a noz macadâmia e o resíduo, e o segundo para analisar o efeito da radiação gama nos parâmetros microbiológicos do resíduo.

Os resultados dos ensaios para caracterização microbiológica da noz macadâmia e do resíduo da extração de óleo estão na TAB 8. Não foi detectada a presença de *Salmonella sp* e de Coliformes a 45°C na noz nem no resíduo. Por outro lado, a contagem de bolores e leveduras e de aeróbios mesófilos são relevantes, tanto na noz quanto no resíduo. A contagem elevada de bolores e leveduras e de aeróbios mesófilos podem ser atribuídas às condições higiênico-sanitárias insatisfatórias no processamento e/ou no armazenamento. A contagem de *Bacillus cereus* foi baixa em ambas as amostras.

TABELA 8 - Avaliação microbiológica da noz macadâmia e do resíduo.

microrganismo	Noz	Resíduo
Coliformes a 45 °C (UFC/g)	< 10	< 10
<i>Salmonella sp</i> (/25g)	Aus	Aus
Bolores e Leveduras (UFC/g)	$5,6 \times 10^3$	$>7,4 \times 10^3$
Aeróbios Mesófilos (UFC/g)	$1,4 \times 10^5$	$8,7 \times 10^4$
<i>Bacillus cereus</i> (UFC/g)	$< 15 \times 10^1$	$< 15 \times 10^1$

Num novo lote de amostras foi estudado o efeito da radiação gama no resíduo irradiado a 0; 2,5; 5 e 7,5 kGy. Nos resultados dos ensaios realizados não foi detectada a presença de *Salmonella sp* e de Coliformes a 45 °C em nenhuma das amostras analisadas.

A contagem de bolores e leveduras nas amostras irradiadas a 0; 2,5; 5 e 7,5 kGy foram, respectivamente, $(2,7 \pm 0,49) \times 10^5$, $(1,7 \pm 0,10) \times 10^4$, $(2,6 \pm 0,92) \times 10^3$ e < 10. A contagem de aeróbios mesófilos nas amostras irradiadas nas mesmas doses

foram, respectivamente, $(8,0 \pm 0,12) \times 10^5$, $(7,9 \pm 0,76) \times 10^4$, $(1,6 \pm 0,14) \times 10^4$ e < 10 . As placas controle de contaminação apresentaram resultado zero, o que garante que o resultado das contagens das placas com as amostras são inerentes somente à quantidade de microrganismos existentes na amostra. As análises foram realizadas em triplicata (n=3).

A legislação brasileira (BRASILa, 2001) estabelece limites de Coliformes a 45 °C/g e *Salmonella sp*/ 25g. Para *Salmonella sp*/ 25g, o padrão microbiológico é ausência. Analisando-se os dados da TAB 8 e os resultados dos ensaios realizados no resíduo irradiado, pode-se observar que todas as amostras não ultrapassaram o padrão estabelecido para *Salmonella sp*. A ausência de *Salmonella sp* nas amostras não irradiadas pode ser atribuída às características intrínsecas da macadâmia, como baixa atividade de água, e fatores extrínsecos, como a baixa umidade, além de condições higiênico-sanitárias satisfatórias durante o processamento. Estes fatores podem ser determinantes para a ausência de *Salmonella sp* (BANWART, 1989; FORSYTHE, 2013).

Para Coliformes a 45 °C a legislação estabelece o limite máximo aceitável de 10^3 . Nos ensaios realizados com a noz macadâmia (TAB 8) e o resíduo irradiado, não foi ultrapassado o limite estabelecido em nenhuma das amostras. Também não houve presença de *Escherichia Coli* em nenhuma das amostras analisadas.

Um alimento pode causar doenças quando contém um número elevado de células viáveis de *Bacillus cereus* (entre 10^7 e 10^9 células). Nos ensaios realizados com a noz macadâmia e o resíduo (TAB 8) os resultados foram $< 15 \times 10^1$ para ambos, todos abaixo de 10^7 .

Embora não esteja mais vigente, a Portaria nº 451 (BRASIL, 1997) estabelecia limite máximo aceitável de 5×10^3 /g de Bolores e Leveduras. Nos ensaios realizados (TAB 8) a noz macadâmia apresentou contagem pouco acima de 5×10^3 /g ($5,6 \times 10^3$ UFC/g) e o resíduo apresentou contagem elevada de bolores e leveduras.

Nos ensaios realizados no resíduo, as amostras irradiadas a 0 e 2,5 kGy apresentaram contagens acima de 5×10^3 /g ($2,7 \times 10^5$ e $1,7 \times 10^4$, respectivamente). As amostras irradiadas a 5 e 7,5 kGy ($2,6 \times 10^3$ e < 10 , respectivamente) apresentaram contagens abaixo do limite de 5×10^3 /g de Bolores e Leveduras, estabelecido pela

Portaria citada. Na FIG 23 é possível observar o efeito da radiação gama na contagem de bolores e leveduras.

FIGURA 23 - Ensaio de bolores e leveduras pelo método de contagem padrão em placas em amostras irradiadas a 0 (esq.) e 7,5 kGy (dir).

No gráfico da FIG 24 é possível verificar o efeito da radiação gama na contagem total de bolores e leveduras do resíduo em amostras irradiadas a 0; 2,5; 5 e 7,5 kGy. Os ensaios realizados mostram uma diminuição da contagem de microrganismos com o aumento da dose.

FIGURA 24 - Concentração de bolores e leveduras em função da dose.

A legislação brasileira não determina limites de tolerância para contagem total de aeróbios mesófilos, mas Leitão (1988) considera admissíveis valores entre 10^4 e 10^6 UFC/g para castanhas cruas, secas ou torradas.

Quando são detectadas alterações sensoriais devido à deterioração de alimentos causada pelo crescimento de microrganismos, a maioria dos alimentos apresenta números superiores a 10^6 UFC/g do alimento. Ryser e Schuman (2015) indicam entre $1,0 \times 10^3$ UFC e $1,0 \times 10^4$ UFC para contagem total de aeróbios mesófilos típica em nozes, sementes e pastas.

Todas as amostras, tanto as da noz quanto as do resíduo irradiado, apresentaram resultados abaixo de 10^6 UFC/g. Vale ressaltar que, as doses de irradiação de 5 e 7,5 kGy proporcionaram números menores na contagem de aeróbios mesófilos ($1,6 \times 10^4$ e < 10 , respectivamente) do que as amostras irradiadas a 0 e 2,5 kGy ($9,0 \times 10^5$ e $7,9 \times 10^4$, respectivamente).

Para os resultados dos ensaios realizados no resíduo irradiado, quanto maior a dose de irradiação, menor a quantidade de microrganismos. A FIG 25 apresenta o efeito da radiação gama na contagem total de aeróbios mesófilos do resíduo em amostras irradiadas a 0; 2,5; 5 e 7,5 kGy.

FIGURA 25 - Concentração de aeróbios mesófilos em função da dose.

Como apresentado anteriormente, as amostras analisadas da noz macadâmia e do resíduo atendem a legislação vigente quanto aos limites estabelecidos de Coliformes a 45°C/g e *Salmonella* sp/25g. Entretanto, nos dois estudos realizados, a contagem inicial de bolores e leveduras e aeróbios mesófilos foram altas, no limite do aceitável. Para garantir a qualidade microbiológica do produto que se pretende comercializar, o efeito da radiação gama demonstrou contribuir positivamente.

Os ensaios realizados com o resíduo mostram uma diminuição da carga microbiana à medida que a dose de radiação aumenta. Doses iguais ou maiores de 5 kGy são suficientes para que o resíduo da macadâmia encontre-se dentro dos padrões microbiológicos estabelecidos e apresente condições de segurança para a comercialização e consumo humano, atendendo a legislação vigente e as indicações de segurança citadas por outras literaturas.

O efeito da radiação gama nos parâmetros microbiológicos dos alimentos tem sido estudado por diversos autores. Prado et al. (2006) relataram que a irradiação gama reduziu a contaminação fúngica em amendoim, previamente desinfetado, nas três doses utilizadas (1, 5 e 10 kGy) e durante todo o intervalo de tempo do experimento (0, 20, 60 e 180 dias). A partir da dose de 10 kGy, não foi observado crescimento fúngico, mesmo após 6 meses de armazenamento a temperatura ambiente, independentemente do processo prévio de desinfecção.

Camargo et al. (2015) estudaram os efeitos da radiação gama nos parâmetros microbiológicos da casca do amendoim para aplicação alimentar. Foram analisados bolores e leveduras, coliformes totais, *Escherichia coli*, *Staphylococcus* e *Salmonella* em amostras irradiadas até 5 kGy. Os autores concluíram que a radiação gama induziu diminuição na contagem microbiológica da pele de amendoim.

Iqbal et al. (2016) utilizaram radiação gama (0 – 10 kGy) em óleo de castanha (*Juglans regia L*) com contagem bacteriana total inicial de $2,45 \times 10^4$ UFC/ml e contagem total de fungos inicial de $8,6 \times 10^3$ esporos/ml. A carga microbiana não foi detectada no óleo irradiado para uma dose absorvida de 6 kGy.

Ic et al. (2007) estudaram frutas secas e nozes com contagem de bolores e leveduras de 10^2 a 10^3 CFU/g. O resultado de redução de carga microbiana nas nozes com irradiação por feixes de elétrons foi de 2,98 kGy.

A contagem de bolores e leveduras foi estudada em farinha de resíduos de frutas por Aranha et al. (2017), quando irradiada com doses de 1, 2 e 3 kGy. A dose de 1 kGy foi insuficiente para reduzir a contagem de bolores e leveduras; somente as doses de 2 e 3 kGy mostraram-se eficazes na redução dos microrganismos.

O efeito da radiação gama nos parâmetros microbiológicos também foi estudado em diversos outros tipos de alimentos: Aly et al. (2013) estudaram bolores e leveduras e contagem total de bactérias em farinha comercial de trigo (*Triticum*

sativum), Oliveira et al. (2009) avaliaram mesófilos aeróbios estritos e facultativos viáveis, bolores e leveduras, coliformes totais e termotolerantes e *Salmonella spp* em peitos de frango embalados, Alcarde & Walder (1997) estudaram levedura em mosto de mel de cana de açúcar, Nunes (2015) obteve redução de bolores e leveduras em salada de repolho e cenoura, Rezende (2013) estudou *Salmonella spp* em espinafre (*Tetragonia expansa*).

Com vários países em todo o mundo adotando a irradiação para tratar e preservar produtos alimentícios de várias naturezas, os estudos dessa tecnologia para a extensão da vida de prateleira foram realizados por vários autores: Lefebvre et al. (1994), Prakash et al. (2000), Prado et al. (2006), Yang et al. (2014), Kumar et al. (2015), Fadhel et al. (2016) e Sirisoontaralak et al (2017). A extensão da vida de prateleira por irradiação de alimentos possui vantagens sobre o processamento térmico eliminando a necessidade de conservantes químicos, mantendo, assim, o valor nutricional dos alimentos (RAVINDRAN & JAISWAL, 2019).

A dose de 5 kGy para redução da carga microbiana foi eleita por dois motivos: primeiramente porque, de acordo com a legislação, “A dose mínima absorvida deve ser suficiente para alcançar a finalidade pretendida”, que, nesse estudo, é atender as condições de segurança para o consumo humano dentro dos padrões microbiológicos estabelecidos. O segundo motivo é que, também de acordo com a legislação, “A dose máxima absorvida deve ser inferior àquela que comprometeria as propriedades funcionais e ou os atributos sensoriais do alimento”.

Trabalhos sobre análise sensorial de nozes em geral mostram que altas doses de radiação podem alterar os atributos sensoriais do alimento, como estudos realizados por Assunção et al. (2015) em castanha-do-brasil irradiadas até 10 kGy e Mexis & Kontominas (2009) em castanha de caju em doses de até 7,5 kGy. Entretanto, doses iguais ou abaixo de 5 kGy não alteraram os atributos sensoriais em estudos realizados por Kashani & Valadon (1984) em pistache iraniano irradiado a 1 kGy, Thomas (1988) em amêndoas irradiadas a 0,1 kGy, Al-Bachir (2004) em nozes irradiadas até 1,5 kGy e Golge & Ova (2008) em pinhões em doses até 5 kGy.

No presente estudo, as propriedades funcionais do resíduo não foram alteradas, como será mostrado no resultado dos ensaios físico-químicos.

5.2 Ensaio físico-químico

Foram realizados dois estudos: o primeiro com o objetivo de caracterizar a noz macadâmia e o resíduo através da determinação da composição centesimal e do perfil de ácidos graxos e o segundo para analisar o efeito da radiação gama na composição centesimal e perfil de ácidos graxos do resíduo.

A legislação brasileira torna obrigatória a rotulagem nutricional pela resolução nº 360 (BRASIL, 2003). O regulamento estabelece obrigatória a declaração de Carboidratos, Proteínas, Gorduras totais, Gorduras saturadas, Gorduras trans, Fibra alimentar, Sódio e Valor energético. Desta forma, estes parâmetros foram analisados e, para a composição centesimal, também foram analisadas Umidade e Cinzas, e, para totalizar as Gorduras totais, foram analisadas Gorduras monoinsaturadas e Gorduras polinsaturadas. Os resultados dos ensaios físico-químicos, conteúdo de proteínas, gorduras, umidade, cinzas, fibras, carboidratos e calorias estão na TAB 9.

TABELA 9 - Avaliação físico-química da noz macadâmia e do resíduo.

Componente (g/100g)	noz macadâmia	resíduo
Proteína	8,58 ± 0,15	11,57 ± 0,18
Gorduras totais	50,48 ± 0,51	19,24 ± 0,81
Gorduras saturadas	6,63 ± 0,07	2,49 ± 0,03
Gorduras trans	ND	ND
Gordura monoinsaturada	39,15 ± 0,18	14,97 ± 0,03
Gordura polinsaturada	2,48 ± 0,10	0,93 ± 0,00
Umidade	1,54 ± 0,00	2,07 ± 0,01
Cinzas	1,32 ± 0,01	1,93 ± 0,06
Fibras	0,18	0,93
Carboidratos	37,90	64,26
Calorias (kcal/100g)	640,24	476,48

ND = não detectado

As análises foram realizadas em triplicata (n=3), exceto para fibras. Os carboidratos e calorias foram calculados. Os valores estão expressos em média ± desvio padrão.

Em adição aos ensaios de composição centesimal, foi analisado o perfil de ácidos graxos. Na análise do perfil de ácidos graxos obtidos por cromatografia gasosa da macadâmia foram estabelecidas as leituras do detector de ionização de chama em função do tempo de retenção (FIG 26). Todo o perfil de ácidos graxos foi determinado e verificou-se a predominância dos ácidos oléico - C18:1C (> 60g / 100g), palmitoleico - C16:1 (> 18g / 100g) e palmítico - C16:0 (> 8g / 100g). Na TAB 10 é mostrado o perfil de ácidos graxos da noz macadâmia e do resíduo.

FIGURA 26 - Cromatograma do perfil de ácidos graxos da noz macadâmia.

TABELA 10 - Perfil de ácidos graxos (%) da noz macadâmia e do resíduo.

Ácido graxo	noz macadâmia	resíduo
C4:0 (ácido butírico)	0	0
C6:0 (ácido capríco)	0	0
C8:0 (ácido caprílico)	0	0
C10:0 (ácido cáprico)	0,00876	0,00616
C11:0 (ácido undecanóico)	0,9122	0
C12:0 (ácido láurico)	0	0,07948
C13:0 (ácido tridecanóico)	0,73011	0
C14:0 (ácido mirístico)	0	0,67005
C14:1 (ácido miristoléico)	0	0
C15:0 (ácido pentadecanóico)	0	0
C15:1 (ácido pentadecenóico)	0	0
C16:0 (ácido palmítico)	8,06638	8,16194
C16:1 (ácido palmitoléico)	18,9541	18,97693
C17:0 (ácido margárico)	0,26045	0,23546
C17:1 (ácido heptadecenóico)	0,03539	0,027776
C18:0 (ácido esteárico)	3,89851	3,76785

C18:1T (ácido elaídico)	0	0
C18:1C (ácido oleico)	60,0275	60,3738
C18:2T (ácido linolelaídico)	0	0
C18:2C (ácido linoleico)	1,23512	1,21732
C20:0 (ácido araquídico)	0	0
C18:3n6 (ácido γ -linolênico)	0	0
C18:3n3C (ácido α -linolênico)	2,98037	2,88981
C18:3T (ácido linolênico trans)	0	0
C20:1n9 (ácido gadoleico)	2,26542	2,20538
C21:0 (ácido heneicosanóico)	0	0
C20:2n6 (ácido eicosadienóico ω 6)	0	0
C22:0 (ácido behênico)	0	0
C20:3n6 (ácido eicosatrienóico ω 6)	0,83822	0,80166
C22:1n9 (ácido erúcico ω 9)	0	0
C20:3n3 (ácido eicosatrienóico ω 3)	0	0
C20:4n6 (ácido araquidônico ω 6)	0	0,22218
C22:2n6 (ácido docosadienóico ω 6)	0	0
C20:5n3 (ácido eicosapentaonóico ω 3)	0,01048	0,01076
C23:0 (ácido tricosanóico)	0,02275	0,02609
C24:0 (ácido lignocérico)	0,34068	0,321
C24:1 (ácido nervônico)	0	0
C22:6n3 (ácido docosaheptaenóico ω 3)	0	0

No segundo estudo, utilizando outro lote de amostras, foram analisadas 4 amostras do resíduo irradiadas com doses de 0; 0,5; 2,5 e 5 kGy. Da mesma forma, foram realizados ensaios de Umidade, Cinzas, Proteína, Gorduras Totais, Gorduras Saturadas, Gorduras Trans, Gorduras monoinsaturadas, Gorduras polinsaturadas, Fibras, Sódio, Carboidratos e Calorias. Os resultados dos ensaios físico-químicos estão na TAB 11. É possível observar certa discrepância nos valores de gorduras totais e fibras em relação ao lote utilizado anteriormente, cujos dados constam na TAB 9.

TABELA 11 - Composição do resíduo em função da dose de radiação.

Componente (g/100g)	Dose			
	0 kGy	0,5 kGy	2,5 kGy	5 kGy
Proteína	12,93 $\pm$ 0,20 ^a	13,25 $\pm$ 0,07 ^a	12,64 $\pm$ 0,01 ^a	12,90 $\pm$ 0,02 ^a
Gorduras totais	55,10 $\pm$ 0,49 ^a	54,50 $\pm$ 0,35 ^a	54,62 $\pm$ 0,65 ^a	54,10 $\pm$ 0,60 ^a
Gorduras saturadas	8,07 $\pm$ 1,10 ^a	8,08 $\pm$ 1,22 ^a	7,69 $\pm$ 0,65 ^a	7,56 $\pm$ 0,57 ^a
Gorduras trans	ND	ND	ND	ND
Gordura monoinsaturada	42,76 $\pm$ 0,23 ^a	42,18 $\pm$ 0,06 ^a	42,70 $\pm$ 0,67 ^a	42,34 $\pm$ 0,71 ^a

Gordura polinsaturada	$1,85 \pm 1,32^a$	$1,85 \pm 1,28^a$	$1,82 \pm 1,32^a$	$2,22 \pm 0,73^a$
Umidade	$2,20 \pm 0,02^a$	$2,34 \pm 0,08^a$	$2,23 \pm 0,06^a$	$2,50 \pm 0,27^a$
Cinzas	$2,06 \pm 0,03^a$	$2,05 \pm 0,07^a$	$2,06 \pm 0,06^a$	$2,05 \pm 0,06^a$
Fibras	$7,10 \pm 0,16^a$	$7,10 \pm 0,15^a$	$7,17 \pm 0,02^a$	$7,03 \pm 0,01^a$
Carboidratos	$20,76 \pm 0,49^a$	$20,47 \pm 0,55^a$	$21,65 \pm 0,05^a$	$21,78 \pm 0,86^a$
Calorias (kcal/100g)	$630,93 \pm 2,57^a$	$627,30 \pm 1,36^a$	$625,51 \pm 0,18^a$	$624,17 \pm 4,24^a$
Ômega 3	$1,47 \pm 0,05^a$	$1,51 \pm 0,04^a$	$1,52 \pm 0,01^a$	$1,48 \pm 0,02^a$
Ômega 6	$1,05 \pm 0,29^a$	$1,06 \pm 0,26^a$	$1,03 \pm 0,30^a$	$1,47 \pm 0,33^a$

ND = não detectado. As análises foram realizadas em triplicata (n=3). Os carboidratos e calorias foram calculados. Os valores estão expressos em média $\pm$ desvio padrão. Nos casos onde houve diferença estatisticamente significativa aplicou-se o teste Tukey, com nível de confiança de 95%. Letras distintas expressam diferença estatística significativa entre as colunas.

Para estudar o efeito da radiação gama no resíduo também foi analisado o perfil de ácidos graxos. Na análise do perfil de ácidos graxos obtidos por cromatografia gasosa foram estabelecidas as leituras do detector de ionização de chama em função do tempo de retenção (FIG 27). Todo o perfil de ácidos graxos do resíduo irradiado foi determinado e verificou-se a predominância dos ácidos oléico - C18:1C (média de 60 % nas amostras irradiadas a 0; 0,5; 2,5 e 5 kGy), palmitoleico - C16:1 (média de 18 %) e palmítico - C16:0 (média de 8%). Na TAB 12 é mostrado o perfil de ácidos graxos do resíduo irradiado.

FIGURA 27 - Cromatogramas do perfil de ácidos graxos do resíduo irradiado a 0 kGy (a); 0,5 kGy (b); 2,5 kGy (c) e 5 kGy (d).

TABELA 12 - Perfil de ácidos graxos (%) do resíduo irradiado.

Ácido graxo	Dose			
	0 kGy	0,5 kGy	2,5 kGy	5 kGy
C4:0 (ácido butírico)	0	0	0	0
C6:0 (ácido capríco)	0	0	0	0
C8:0 (ácido caprílico)	0	0,01689	0	0
C10:0 (ácido cáprico)	0	0	0,00425	0,00577
C11:0 (ácido undecanóico)	0,01313	0,01767	0	0,00656
C12:0 (ácido láurico)	0,24615	0,1115	0,11479	0,26619
C13:0 (ácido tridecanóico)	0	0	0	0
C14:0 (ácido mirístico)	0,6647	0,62905	0,50455	0,70325
C14:1 (ácido miristoléico)	0	0	0	0
C15:0 (ácido pentadecanóico)	0,01074	0	0,0095	0,00537
C15:1 (ácido pentadecenóico)	0	0	0	0
C16:0 (ácido palmítico)	8,4566	8,20221	7,62135	8,28379
C16:1 (ácido palmitoléico)	18,17304	17,39215	16,37855	18,45755
C17:0 (ácido margárico)	0,2515	0	0	0,25403
C17:1 (ácido heptadecenóico)	0,03081	0	0	0,02968
C18:0 (ácido esteárico)	3,98565	3,77371	4,14737	3,97092
C18:1T (ácido elaídico)	0	0	0	0
C18:1C (ácido oleico)	60,0676	55,6328	63,0985	60,00589
C18:2T (ácido linolelaídico)	0	0	0	0
C18:2C (ácido linoleico)	1,35431	1,25352	1,35483	1,21435
C20:0 (ácido araquídico)	2,92657	2,75691	2,89569	0,90775
C18:3n6 (ácido γ -linolênico)	0	0	0	0
C18:3n3C (ácido α -linolênico)	0,13125	0,12367	0,13168	0,4159
C18:3T (ácido linolênico trans)	0	0	0	0
C20:1n9 (ácido gadoleico)	2,31305	2,20699	2,29452	3,3002
C21:0 (ácido heneicosanóico)	0	0,16871	0	0
C20:2n6 (ácido eicosadienóico ω 6)	0	0	0	0
C22:0 (ácido behênico)	0,78811	0,3543	0,72015	0,39405
C20:3n6 (ácido eicosatrienóico ω 6)	0	0	0	0,1826
C22:1n9 (ácido erúico ω 9)	0	0	0	0
C20:3n3 (ácido eicosatrienóico ω 3)	0	0	0	0
C20:4n6 (ácido araquidônico ω 6)	0,2558	0,22874	0,21683	0,49126
C22:2n6 (ácido docosadienóico ω 6)	0	0,2088	0	0
C20:5n3 (ácido eicosapentaonóico ω 3)	0	0	0	0,01566
C23:0 (ácido tricosanóico)	0	0	0	0,01233
C24:0 (ácido lignocérico)	0,33096	1,97625	0,28136	0,3306
C24:1 (ácido nervônico)	0	4,94616	0	0
C22:6n3 (ácido docosahexaenóico ω 3)	0	0	0	0

A composição centesimal da macadâmia pode apresentar variações devido ao clima, solo, época de crescimento e método de colheita (TOLEDO & BURLINGAME, 2006; PREEZ, 2015). No Estado de São Paulo o início da safra ocorre em março, entretanto, se no ano anterior, na época de florada, choveu acima do normal favorecendo o desenvolvimento dos frutos, então o início da safra pode ocorrer em meados de fevereiro. De acordo com Penoni (2011) em estudo realizado sobre

caracterização produtiva de cultivares de macadâmia, a produção no Brasil tem início na primeira semana do mês de março e se estende até o final de junho. O amadurecimento dos frutos ocorre no outono brasileiro, e os frutos devem ser colhidos imediatamente após sua queda no solo.

Segundo especialistas da empresa Queen Nut Macadamia, no início da safra as macadâmias imaturas, que caíram da árvore devido à chuva, ventos, entre outros fatores, estão em maior quantidade. Estas macadâmias imaturas possuem menor teor de óleo.

Os resultados das análises de composição centesimal realizadas indicam que a noz macadâmia, bem como o resíduo irradiado, são ricos em gorduras totais, atribuído principalmente à gordura monoinsaturada, que, como mencionado anteriormente, pode ser incluída na dieta humana para redução do colesterol sérico (JENKINS et al., 2002; BOROMPICHAICHARTKUL et al., 2009). Nas análises de gorduras totais na noz macadâmia foram encontrados valores menores do que os de literatura: 66,16 g/100g (FREITAS & NAVES, 2010); 70 a 78 g/100g (SILVA, 2003); 77,19 g/100g (GARCIA, 2010), 75 g/100g (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NOZ MACADÂMIA, 2019) e 75,77 g/100g (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2019). O menor teor de gorduras totais na macadâmia analisada pode ser atribuído à época em que a noz foi colhida, no mês de março, onde a macadâmia ainda é imatura. Não foi detectada gordura *trans* em nenhuma das amostras analisadas.

Rabelo (2007) compara a composição química de castanha do Brasil, castanha de pequi, castanha de caju, castanha de baru e noz macadâmia onde a noz macadâmia apresenta a maior quantidade de gorduras (74,0 g/100g), conforme já mencionado. A macadâmia é uma exceção quando comparada às demais nozes ao apresentar maior teor de ácido palmitoléico e ácido palmítico (VENKATACHALAM & SATHE, 2006).

O resíduo irradiado apresentou o mesmo perfil de ácidos graxos da noz macadâmia. Na análise da noz macadâmia e do resíduo irradiado, verificou-se predominância de ácido oleico (cerca de 60%), ácido palmitoléico (cerca de 18 %) e ácido palmítico (cerca de 8 %).

Carrilo et al. (2017) estudaram a composição de ácidos graxos de diversos óleos vegetais, tais como óleo de girassol, óleo de soja, azeite de dendê, óleo de milho e

óleo de macadâmia. Neste estudo, os autores encontraram 63,36 % de ácido oleico, 12,48 % de ácido palmitoléico e 9,11 % de ácido palmítico no óleo de macadâmia. Nenhum dos óleos estudados superou o óleo da macadâmia em ácido palmitoléico.

Os resultados obtidos para ômega 3 e ômega 6 foram, respectivamente, 1,50 g/100g e 1,15 g/100g. Freitas & Naves (2010) realizaram um estudo sobre a composição de nozes e sua relação com a nutrição e saúde e destacaram, dentre todas as nozes e sementes comestíveis estudadas, a macadâmia, por possuir a melhor proporção de ácidos graxos ômega 6 / ômega 3, reforçando a importância de seus efeitos sobre a saúde humana.

A macadâmia tipicamente contém quantidades significativas de proteínas. Nas análises realizadas foram encontrados $8,58 \pm 0,15$ g/100g na noz macadâmia e uma média de 12,93 g/100g no resíduo irradiado. O teor de proteína encontrado na noz macadâmia foi equivalente ao encontrado na literatura: 8,40 g/100g (FREITAS & NAVES, 2010); 7,2 a 10,2 g/100g (SILVA, 2003); 7,23 g/100g (GARCIA, 2010); 9,4 g/100g (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NOZ MACADÂMIA, 2019); 7,91 g/100g (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2019) e 7,91 g/100g (TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS, 2017). No resíduo, a proteína é ainda mais evidenciada. Em estudo de composição centesimal e perfil de ácidos graxos, Tiwari e Jha (2017) concluíram que o resíduo resultante da extração de óleo de macadâmia, como outros resíduos oleaginosos, é uma boa fonte de energia, proteína e fibras.

Nas análises realizadas foram encontrados 0,18 g/100g de fibra na noz macadâmia e uma média de 7,06 g/100g no resíduo irradiado. Os resultados encontrados na noz macadâmia estão abaixo dos citados pela ABM (2018) (7,7 g/100g), USDA (2019) (8,6 g/100g) e pela TBCA (2017) (8,6 g/100g), entretanto os valores encontrados no resíduo são equivalentes.

As amostras analisadas apresentaram baixa umidade: foram encontradas 1,54 g/100g de umidade na noz macadâmia e uma média de 2,32 g/100g no resíduo irradiado. Na literatura os valores de umidade encontrados para a macadâmia também são baixos.

Os valores das análises de cinzas também foram baixos. Nas análises realizadas foram encontrados 1,32 g/100g na noz macadâmia e uma média de 2,06

g/100g no resíduo irradiado. Da mesma forma, os valores encontrados na literatura são baixos.

Os carboidratos foram calculados de acordo com a resolução nº 360 (BRASIL, 2003) e, desta forma foram obtidos 37,90 g/100g de carboidratos na noz macadâmia e uma média de 21,17 g/100g no resíduo irradiado. Os valores de carboidratos na macadâmia encontrados em literatura, bem como os indicados por Instituições, possuem consideráveis discrepâncias entre si; desde 4,7 g/100g (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NOZ MACADÂMIA, 2019) a 22,18 g/100g (FREITAS & NAVES, 2010).

Os valores de calorias foram calculados considerando-se os fatores de conversão indicados na resolução nº 360 (BRASIL, 2003) e foram obtidos 640,24 kcal/100g na noz macadâmia e uma média de 626,98 kcal/100g no resíduo irradiado. Estes valores estão abaixo dos valores encontrados em literatura: 717,76 kcal/100g (FREITAS & NAVES, 2010); 746 kcal/100g (SILVA, 2003); 718 kcal/100g (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2019) e 752 kcal/100g (TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS, 2017).

De acordo com a análise estatística utilizada para investigar o efeito da radiação gama na composição centesimal do resíduo, pode-se afirmar que os resultados obtidos nas amostras irradiadas com doses de 0; 0,5; 2,5 e 5 kGy, não tem diferença significativa entre os resultados. Foi utilizado para todos os testes estatísticos o nível de confiança de 95%. Desta forma, de acordo com o presente estudo, a radiação gama não tem efeito sobre a composição centesimal do resíduo.

Camargo (2012) estudou os efeitos da radiação gama nos parâmetros físico-químicos no amendoim e concluiu que não houve diferença significativa ($p < 0,05$) em relação à composição centesimal entre amostras de amendoim submetidos a doses de radiação de 0; 5; 7,5 e 10 kGy. Costa (2011) também estudou o efeito da radiação gama em amendoim e verificou que não houve variação significativa na composição centesimal em doses de até 10 kGy.

Toledo et al. (2007), estudando a soja, observaram que doses de 0, 2, 4 e 8 kGy aplicadas a diferentes cultivares não apresentaram diferenças significativas ($p \leq 0,05$) para as porcentagens lipídicas presentes. Em estudo realizado por Ben Mustapha

et al. (2014) em milho da Tunísia a composição de ácidos graxos também não foi alterada pela radiação gama.

Granados (1981) estudou o efeito da radiação gama em doses de 2, 3 e 5 kGy em amêndoa de cacau e concluiu que não houve diferença significativa entre as propriedades químicas.

De acordo com o estudo realizado por Ravindran & Jaiswal (2019) sobre os aspectos de salubridade e segurança dos alimentos irradiados, os autores concluíram que a irradiação de alimentos não tem efeito sobre o valor nutritivo dos produtos alimentícios e não afeta macronutrientes importantes, como carboidratos, proteínas e gorduras.

5.3 Análise por ativação neutrônica (INAA)

As concentrações de Br, Ca, Cl, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Rb, Se e Zn determinadas na noz macadâmia e no resíduo são apresentadas na TAB 13. Cada resultado é a média aritmética de 3 a 5 resultados individuais, acompanhados do desvio padrão. Também são apresentados dados da literatura, para comparação.

TABELA 13 – Comparação da composição de micronutrientes ($\mu\text{g/g}$) na noz e no resíduo obtidos por INAA no presente trabalho e dados da literatura.

Elemento	Noz*	Noz**	Noz (INAA)	Resíduo (INAA)
Br	-	-	$22,4 \pm 0,4$	25 ± 3
Ca	456,0	850	447 ± 29	657 ± 135
Cl	-	-	129 ± 21	190 ± 32
Co	-	-	$0,10 \pm 0,01$	$0,29 \pm 0,04$
Cr	-	-	$0,35 \pm 0,03$	ND
Cu	9,7	8	$3,0 \pm 0,8$	$4,7 \pm 0,1$
Fe	31,1	37	26 ± 3	22 ± 4
K	4298,5	3680	4021 ± 453	5201 ± 586
Mg	1460,0	1300	981 ± 126	1549 ± 250
Mn	48,6	41	$31,5 \pm 1,9$	$49,7 \pm 3,8$

Na	191,1	50	$5,9 \pm 0,2$	$7,6 \pm 0,4$
Rb	-	-	13 ± 2	17 ± 3
Se ($\mu\text{g/kg}$)	-	-	42 ± 23	ND
Zn	17,3	13	$15,9 \pm 0,6$	$19,9 \pm 0,9$

ND – Não detectado nas condições experimentais utilizadas

* cultivar HAES 344 em 2014 (MERELES et al, 2017)

** Tabela Brasileira de Composição de Alimentos, 2017

É possível verificar que elementos importantes do ponto de vista nutricional são encontrados em maior percentual no resíduo do que na própria noz macadâmia. São eles: cálcio, cobre, potássio, magnésio, manganês, rubídio e zinco.

A composição de macro e micronutrientes da noz macadâmia pode apresentar variação entre os cultivares, entretanto, de forma geral, a macadâmia é considerada boa fonte de minerais. De acordo com Leterme et al. (2006) a composição mineral está relacionada às condições de fertilidade de cada região, uma vez que os minerais são absorvidos do solo.

Ros (2010) menciona na sua revisão dados do *US Department of Agriculture Nutrient Data Base* (http://www.nal.usda.gov/fnic/cgi-bin/nut_search.pl) no qual consta que a macadâmia possui 850 $\mu\text{g/g}$ de cálcio; 1300 $\mu\text{g/g}$ de magnésio; 50 $\mu\text{g/g}$ de sódio e 3680 $\mu\text{g/g}$ de potássio. Moodley et al. (2007) encontraram na macadâmia 3376,1 $\mu\text{g/g}$ de cálcio; 1,26 $\mu\text{g/g}$ de cromo; 18,96 $\mu\text{g/g}$ de cobre; 68,06 $\mu\text{g/g}$ de ferro; 4886,5 $\mu\text{g/g}$ de magnésio; 88,64 $\mu\text{g/g}$ de manganês e 38,46 $\mu\text{g/g}$ de zinco.

Considerando-se a ingestão diária de minerais recomendada para adultos (BRASIL, 2005) apresentada na TAB 3, pode-se concluir que para atender às necessidades nutricionais, 30g de macadâmia correspondem às seguintes porcentagens de ingestão diária recomendada (IDR):

- 41,09 % da IDR de manganês;
- 30,00 % da IDR de cromo;
- 11,31 % da IDR de magnésio;
- 10,00 % da IDR de cobre;
- 6,81 % da IDR de zinco;
- 5,57 % da IDR de ferro;
- 3,71 % da IDR de selênio; e

- 1,34 % da IDR de cálcio.

Da mesma forma, os resultados obtidos no resíduo, para atender às necessidades nutricionais, 30g correspondem às seguintes porcentagens de ingestão diária recomendada (IDR):

- 64,83 % da IDR de manganês;
- 17,87 % da IDR de magnésio;
- 15,67 % da IDR de cobre;
- 8,53 % da IDR de zinco;
- 4,71 % da IDR de ferro;
- 1,97 % da IDR de cálcio.

Não foram detectados selênio e cromo na amostra do resíduo da macadâmia analisada.

A porcentagem da ingestão diária recomendada (IDR) de minerais para adultos contida em 30g de macadâmia e do resíduo podem ser visualizadas na FIG 28.

FIGURA 28 - Porcentagem da Ingestão Diária Recomendada (IDR) contida em 30g de macadâmia e do resíduo.

De acordo com a FIG 28, pode-se observar que tanto a noz macadâmia quanto o resíduo são boas fontes de minerais, com destaque para o manganês, que representa 41,09 % da IDR em 30 g de macadâmia e 64,83 % da IDR em 30g de

resíduo. O manganês é um mineral essencial para o bom funcionamento de enzimas, o desenvolvimento dos ossos, cicatrização de feridas e na absorção dos nutrientes.

O cromo representa 30 % da IDR em 30 g de macadâmia, porém não foi detectado na amostra analisada do resíduo da macadâmia. Também merecem destaque o magnésio e o cobre tanto na noz macadâmia quanto no resíduo.

No Brasil a constante preocupação com a ingestão de sódio elevada, implicou em acordos para a redução de sódio entre as diversas indústrias de alimentos e órgãos públicos. A legislação brasileira (BRASIL, 2003) estabelece valores diários de referência (VDR) para Sódio de 2400 miligramas. A Food and Drug Administration - FDA - utiliza para macronutrientes os Daily Reference Values (DRV) e estabelece para o sódio o DRV de 2000 miligramas.

Conforme apresentado na TAB 13, as concentrações de sódio na noz macadâmia e no resíduo são respectivamente 5,9 µg/g e 7,6 µg/g. Se considerarmos a mesma porção de 30 g, o valor de sódio será de 177 µg e 228 µg respectivamente na noz macadâmia e no resíduo. Estes valores estão consideravelmente abaixo dos valores diários de referência estabelecidos em legislação.

Para o potássio, a Organização Mundial da Saúde – OMS - recomenda que um adulto deva consumir pelo menos 3.510 mg por dia. A FDA estabelece para potássio o DRV de 4700 miligramas. As nozes e castanhas, de uma forma geral, são consideradas boa fonte de potássio com cerca de 6 mg/g. As concentrações de potássio na noz macadâmia e no resíduo, de acordo com a TAB 13, são respectivamente 4021µg/g e 5201µg/g. Em uma porção de 30g, o valor de potássio seria de 120,63 mg e 156,03 mg respectivamente na noz macadâmia e no resíduo.

No presente estudo, foi caracterizada a noz macadâmia e o resíduo por ensaios microbiológicos, ensaios de determinação da composição centesimal e perfil de ácidos graxos e análise por ativação neutrônica. Também foi analisado o efeito da radiação gama na composição centesimal e nos parâmetros microbiológicos do resíduo resultante da extração de óleo de macadâmia para utilização como ingrediente em alimentos. Cabe destacar dos resultados:

- ✓ As amostras de noz macadâmia e do resíduo resultante da extração de óleo analisadas nos ensaios microbiológicos atendem a legislação quanto aos limites de Coliformes a 45°C/g e *Salmonella sp*/25g (ausente). Entretanto, as contagens

totais de bolores e leveduras e de aeróbios mesófilos foram elevadas. Os ensaios realizados mostraram diminuição dos microrganismos à medida que a dose de irradiação aumenta.

- ✓ Os estudos indicam que doses iguais ou maiores de 5 kGy são suficientes para que o resíduo permaneça dentro dos padrões microbiológicos estabelecidos e apresente condições de segurança para a comercialização e consumo humano, atendendo a legislação vigente e as indicações de segurança citadas na literatura.
- ✓ A análise por ativação neutrônica possibilitou determinar quantitativamente 14 elementos (Br, Ca, Cl, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Rb, Se e Zn) na noz macadâmia e no resíduo em concentrações na ordem de micrograma por grama a micrograma por quilograma ($\mu\text{g/g}$ a $\mu\text{g/kg}$). O resíduo possui importantes minerais, encontrados em maior quantidade do que na própria noz: cálcio, cobre, potássio, magnésio, manganês, rubídio e zinco.
- ✓ A macadâmia e o resíduo podem ser considerados boa fonte de minerais. Em uma porção de 30g de noz macadâmia ou do resíduo, os elementos manganês, cromo (somente na noz macadâmia), magnésio e cobre podem contribuir consideravelmente para atender a ingestão diária recomendada destes minerais. A ingestão diária de 30 g de noz macadâmia ou do resíduo da macadâmia acrescentam pequena quantidade de sódio (177 μg e 228 μg , respectivamente), conforme recomendação da legislação.

6 CONCLUSÃO

A principal contribuição desse trabalho foi a caracterização do resíduo resultante da extração de óleo da macadâmia irradiado, que possui elementos importantes do ponto de vista nutricional. A radiação gama, nas doses aplicadas, não induziu modificações significativas na composição centesimal do resíduo. A partir dos ensaios físico-químicos foi possível constatar que a noz macadâmia, bem como o resíduo parcialmente desengordurado, são ricos em gorduras totais, atribuído principalmente à gordura monoinsaturada, além de proteínas e fibras. Na análise do perfil de ácidos graxos, foram corroborados os dados da literatura. Por outro lado, verificou-se que o resíduo, mesmo após irradiação, apresenta o mesmo perfil de ácidos graxos da macadâmia com 60 % de ácido oleico, 18 % de ácido palmitoléico e 8 % de ácido palmítico.

Assim, é possível concluir que a radiação gama pode ser considerada uma boa alternativa para o tratamento do resíduo resultante da extração de óleo de macadâmia sem alterar sua qualidade nutricional, permitindo que seja utilizado com segurança pela indústria alimentícia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-BACHIR, M., Effect of gamma irradiation on fungal load, chemical and sensory characteristics of walnut (*Junglans regia* L.), *Journal of Stored Products Research*, v. 40, p. 355–362, 2004.
- ALCARDE, A.R., WALDER, J.M.M., Efeito da Radiação Gama na Sobrevivência da Levedura *Saccharomyces cerevisiae* (cepa M- 300-A) em Mosto de Mel de Cana-de-Açúcar, *Scientia Agricola*, v. 54, n. 3, Piracicaba, 1997.
- ALENCAR, M., Macadâmia Ajuda a Reduzir o Colesterol, *Revista Viva Saúde*, 06 de Jul de 2015. Disponível em: <https://vivasau.de.digisa.com.br/guia/macadamia-ajuda-a-reduzir-o-colesterol/3145/> Acesso em: 24 de janeiro de 2019.
- ALISSON, E., Pesquisa possibilita controlar a contaminação de castanhas-do-pará por micotoxinas, *Agência FAPESP*, 2017. Disponível em: http://agencia.fapesp.br/print/pesquisa_possibilita_controlar_a_contaminacao_de_castanhas-do-para_por_micotoxinas/25615/ Acesso em: 08 de janeiro de 2019.
- ALVES, C. B. L., MAIHARA, V. A., Determinação de elementos essenciais em algas marinhas comestíveis por análise por ativação neutrônica, *International Nuclear Atlantic Conference – INAC*, Recife, PE, Brasil, 2013.
- ALY, A. A., EMAM O. A., EL-BASSYOUNI, G. M., Effects of gamma irradiation treatment on rheological properties and microbial load of wheat flour (*Triticum sativum*), *Journal of Home Economics*, ISSN 2578 - 1110 4, 2013.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), Committee on Microbiological for Foods. *Compendium of Methods Microbiological Examination of Foods*. 4. ed. Washington: American Public Health Association, 2001. 676p.
- AMIEL, S., *Nondestructive Activation Analysis with nuclear reactors and radioactive neutron sources*, Elsevier Scientific Publishing, New York, 1981.
- ARAÚJO, A. S., *Microbiologia Geral*, Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Pombal, 2010.
- ARANHA, J. B., NEGRI, T. C., MARTIN, J. G. P., SPOTO, M. H. F., Effect of gamma radiation on the microbiological and physicochemical parameters and on the phenolic

compounds of a fruit residue flour during storage, *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 20, Campinas, 2017.

ARROBA SUSTENTABILIDADE, *Macadâmia – Propriedades, benefícios e modo de consumo*, Arroba News, 2017, Acesso em: 03 de dezembro de 2018, Disponível em <https://www.arroba.com.br/2017/11/07/macadamia-propriedades-beneficios/>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NOZ MACADÂMIA (ABM), *Macadâmia Australiana: A Noz Saudável*, Disponível em: <http://www.abm.agr.br/> Acesso em: 15 de julho de 2019.

ASSUNÇÃO, E., REIS, T., A., BAQUIÃO, A., C., CORRÊA, B., Effects of Gamma and Electron Beam Radiation on Brazil Nuts Artificially Inoculated with *Aspergillus flavus*, *Journal of Food Protection*, 78(7), 1397-401, 2015.

AUSTRALIAN MACADAMIAS, *Growing*, Disponível em: <https://www.australian-macadamias.org/consumer/our-story> Acesso em: 27 de janeiro de 2019.

AVEGLIANO, R. P., MAIHARA, V. A., SILVA, F. F. A., Brazilian Total Diet Study: Evaluation of essential elements, *Journal of Food Composition and Analysis*, Elsevier Inc., 2011.

BASSON, R.A. *Advances in radiation chemistry of food and food component – an overview*. In: Cohen AJ, Elias PS, eds. Recent advances in food irradiation. Amsterdam, Elsevier, 1983, pp. 7-25.

BANWART, G. J., *Basic food microbiology*, 2nd. ed., New York: Van Nostrand Rheinhold, 1989.

BEN MUSTAPHA, M., BOUSSELMI, M., JERBI, T., BEN BETTALIEB, N., FATTOUCH, S., Gamma radiation effects on microbiological, physico-chemical and antioxidant properties of Tunisian millet (*Pennisetum Glaucum* LRBr.), *Food Chemistry*, v. 154, p. 230-237, 2014.

BLODGETT, R., 2010, Appendix 2 – Most Probable Number from Serial Dilutions. In: US FOOD AND DRUG ADMINISTRATION (FDA), *Bacteriological Analytical Manual*, Revision February 2006, Disponível em: <http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm109656.htm> Acesso em: 15 de julho de 2019.

BLOMHOFF R., CARLSEN M.H., ANDERSEN L.F., JACOBS D.R., Health benefits of nuts: potential role of antioxidants, *British Journal of Nutrition*, 96, suppl. 2, S52-S60, 2006.

BONATO, J., Colheita de macadâmnia mais que dobra em seis anos, mas ainda falta produto, *UOL*, Economia, Agronegócio, Ribeirão Preto, SP, 17 de jan. 2014, Disponível em: <http://economia.uol.com.br/agronegocio/noticias/redacao/2014/01/17/colheita-de-macadamia-mais-que-dobrou-em-seis-anos-mas-ainda-falta-produto.htm#fotoNav=1>
Acesso em: 04 de dezembro de 2018.

BOROMPICHAICHARTKUL C., LUENGSONE, K., CHINPRAHAST, N., DEVAHASTIN, S., Improving quality of macadamia nut (*Macadamia integrifolia*) through the use of hybrid drying process, *Journal of Food Engineering*, v. 93, p. 348-353, 2009.

BRAR, P., K., DANYLUK, M., D., Nuts and Grains: Microbiology and Preharvest Contamination Risks, *Microbiology Spectrum*, 6(2), doi: 10.1128, article number: UNSP PFS-0023, 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução RDC nº 269 de 22 de setembro de 2005. Dispõe sobre regulamento técnico sobre a ingestão diária recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, D.F.

BRASIL. Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Portaria nº 451, de 19 de setembro de 1997. Aprova o Regulamento Técnico Princípios Gerais para o Estabelecimento de Critérios e Padrões Microbiológicos para Alimentos. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, D.F, 22 de setembro de 1997.

BRASILa. Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução de Diretoria Colegiada (RDC) nº 12, de 02 de janeiro de 2001. Aprova o Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. *Diário Oficial da União*, Brasília, 10 jan. 2001. Seção 1, p.45-53.

BRASILb. Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução nº 21, 26 de janeiro de 2001. Dispõe sobre regulamento técnico para irradiação de alimentos. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, D.F, Seção 1, Parte Eletrônica, p.35, 29 jan. 2001.

BRASIL, Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003. Aprova o Regulamento Técnico sobre Rotulagem Nutricional de Alimentos Embalados, tornando obrigatória a rotulagem nutricional. *Diário Oficial da União*, Brasília, 26 dez. 2003.

BREDA, J. *Fundamentos de Higiene Alimentar e Nutrição*, Coimbra, Printipo Indústrias Gráficas Ltda, 1998.

BRYDEN, W.L. Mycotoxins in the food chain: human health implications, *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, Austrália, v. 16, suplemento 1, p. 95–101, 2007.

CAMARGO, A.C., REGITANO-D'ARCE, M.A.B., GALLO, C.R., SHAHIDI F., Gamma-irradiation induced changes in microbiological status, phenolic profile and antioxidant activity of peanut skin, *Journal of Functional Foods*, v. 12, p. 129–143, 2015.

CAMARGO, A. C., *Efeitos físico-químicos da radiação gama no amendoim e a utilização da sua película como antioxidante natural*, 2012. 102p. Dissertação (Mestrado em Ciências), Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

CARRILO, W., CARPIO, C., MORALES, D., VILCACUNDO, E., ALVAREZ, M., Fatty Acids Composition In Macadamia Sedes Oil (Macadamia Integrifolia) From Ecuador, *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, v. 10, issue 2, 2017.

CASTRO, J.J.L. DÍAZ, M.G., DELGADO, M.J.S., BARROSO, S.R., DÍEZ, L.M.P., Effect of electron-beam irradiation on cholesterol oxide formation in different ready-to-eat foods, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, v. 12, p. 519–525, 2011.

COSTA, L.A.d. *Análise por ativação neutrônica: estudo de interferências primárias nas determinações de alumínio, magnésio, manganês e sódio*, 2007. 105p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia das Radiações, Minerais e Materiais) - Comissão Nacional de Energia Nuclear, Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN/CNEN, Belo Horizonte.

COSTA, L. F., *Influência da radiação gama na composição nutricional e na contaminação por Aspergillus aflatoxigênicos em amendoim*, 2011. Dissertação

(Mestrado em Tecnologias Energéticas e Nucleares), Universidade Federal de Pernambuco.

D'AOUST, J. Y., MAURER, J., BAILEY, J. S. *Salmonella* species. In: DOYLE, M. P., BEUCHAT, L. R., MONTVILLE, T. J., *Food microbiology: fundamental and frontiers*, 2nd Edition, Washington, ASM Press, 2007, p. 187-236.

DIEHL, J.F., Food irradiation - past, present and future, *Radiation Physics and Chemistry*, v. 63, p. 211–215, 2002.

EVANGELISTA, J. *Tecnologia de alimentos*, 2.ed., São Paulo, Editora Atheneu, 2008. 652 p.

FADHEL, Y. B., LEROY, V., DUSSAULT, D., ST-YVES, F., LAUZON, M., SALMIERI, S., LACROIX, M., Combined effects of marinating and γ -irradiation in ensuring safety, protection of nutritional value and increase in shelf-life of ready-to-cook meat for immunocompromised patients, *Meat Science*, 118, p. 43–51, 2016.

FARKAS, J. Irradiation for better foods, *Trends in Food Science & Technology*, v. 17, p. 148-152, 2006.

FARKAS J., Irradiation as a method for decontaminating food: a review. *International Journal of Food Microbiology*, v. 44, Issue 3, p. 189-204, 1998. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1605\(98\)00132-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1605(98)00132-9) Acesso em: 11 de janeiro de 2019.

FORSYTHE, S. J., *Microbiologia de segurança dos alimentos*, 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 607 p.

FRANÇA, B.H.C., Dossiê Técnico - Macadâmia - cultivo e produtos derivados, *REDETEC Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro*, 2007. Disponível em: <http://respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/MjAy> Acesso em: 15 jul. 2019.

FRANCO, B. D. G. M; LANDGRAF, M., *Microbiologia dos Alimentos*, São Paulo, Editora Atheneu, 2008.

FRAZIER, W. C.; WESTHOFF, D. C. *Food Microbiology*. New York: Mc Graw Hill, 1993.

FREIRE, F. C. O., MASTRO, N.L.d. Efeito da radiação gama na redução da deterioração fúngica em amêndoas e castanhas de cajueiro. XXXIII Congresso

Brasileiro de Fitopatologia. *Anais do...*, São Paulo, Sociedade Brasileira de Fitopatologia, 2000, v.1.

FREIRE, F. C. O., OFFORD, L., Bacterial and yeast counts in Brazilian commodities and spices, *Brazilian Journal Microbiology*, São Paulo, v. 33, n. 2, 2002.

FREITAS, J. B.; NAVES, M. M. V. Composição química de nozes e sementes comestíveis e sua relação com a nutrição e saúde. *Revista de Nutrição*, Campinas, v. 23, n. 2, p. 269-279, 2010.

GAMA, T., WALLACE, H. M., TRUEMAN, S. J., HOSSEINI-BAI, S., Quality and shelf life of tree nuts: A review, *Scientia Horticulturae*, 242, 2018.

GARCIA, P. C., *Caracterização química e avaliação da atividade antioxidante in vitro de noz macadâmia (Macadamia integrifolia, Maiden e Betcher) submetida aos processos de secagem e de torra*, 2010. 97 p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos), Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

GERMANO, P.M.L.; GERMANO, M.I.S. *Higiene e vigilância sanitária de alimentos*, 2 ed., São Paulo, Varela, 2001. 655p.

GLASCOCK, M. D., *An Overview of Neutron Activation Analysis*, University of Missouri Research Reactor (MURR), 2004.

GLOBO RURAL, Agricultura, São Paulo sedia encontro latino americano de nozes e castanhas, *Globo Rural*, 13 de out. 2017, Disponível em: <https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Agricultura/noticia/2017/10/sao-paulo-sedia-encontro-latino-americano-de-nozes-e-castanhas.html> Acesso em: 05 dez. 2018.

GLOBO RURAL, Mais mercado para a noz macadâmia, *Globo Rural*, Edição 249 – jul. 2006. Disponível em:

<http://revistagloborural.globo.com/GloboRural/0,6993,EEC1233488-1485,00.html>

Acesso em: 26 set. 2018.

GOLGE, E., & OVA, G., The effects of food irradiation on quality of pine nut kernels, *Radiation Physics and Chemistry*, v. 77, p. 365–369, 2008.

GRANADOS, F., *Effect of gamma irradiation on the control of fungi and Salmonella spp. and on the physico-chemical characteristics of cocoa beans*, 1981. Dissertação

(Mestrado em Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Unicamp, São Paulo.

HALLMAN, G. J., Process control in phytosanitary irradiation of fresh fruits and vegetables as a model for other phytosanitary treatment processes, *Food Control*, 72, p. 372–377, 2017.

HAZELWOOD, D., McLEAN, A. C., *Manual de higiene para manipuladores de alimentos*, São Paulo, Livraria Varela, 1994. 140p.

HENRIQUE, B., Pesquisadores fazem testes de nutrição, *O Estado de S. Paulo*, Agrícola, p. 1-3, 09 de set. 2009, Disponível em: <https://www.estadao.com.br/noticias/geral,pesquisadores-fazem-testes-de-nutricao,431729> Acesso em: 07 dez. 2018.

HENRIQUE, B., Uma noz cada vez mais brasileira, *O Estado de S. Paulo*, Agrícola, 09 de set. 2009, Disponível em: <http://www.estadao.com.br/noticias/geral,uma-noz-cada-vez-mais-brasileira,431743> Acesso em: 24 jan. 2019.

HUI, Y.H., *Handbook of Fruits and Fruits Processing*, 1ª ed., Blackwell Publishing, 2006. 688p.

IC, E., KOTTAPALLI B., MAXIM J., PILLAI, S.D., Electron Beam Radiation of Dried Fruits and Nuts To Reduce Yeast and Mold Bioburden, *Journal of Food Protection*, v. 70, n. 4, p. 981–985, 2007.

IHSANULLAH, I., & RASHID, A., Current activities in food irradiation as a sanitary and phytosanitary treatment in the Asia and the Pacific Region and a comparison with advanced countries. *Food Control*, 72, p. 345–359, 2017.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (IAL), Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz; *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*, 4a ed., São Paulo, SP, Brasil Instituto Adolfo Lutz, 2008, 1020 p.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA), INIS - International Nuclear Information System, *Codex general standard for irradiated foods and recommended international code of practice for the operation of radiation facilities used for the treatment of foods*, 1984, Disponível em: <https://inis.iaea.org/search/searchsinglerecord.aspx?recordsFor=SingleRecord&RN=18086477> Acesso em: 11 jan. 2019.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA), *Use of research reactors for neutron activations analysis*, IAEA TECDOC-1215, Vienna: IAEA, 2001. 104p.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA), *Practical aspects of operating a neutron activation analysis laboratory*, TECDOC-564, Vienna: IAEA, 1990, 251 p.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA), *Quality aspects of research reactor operations for instrumental neutron activation analysis*, TECDOC-1218, Vienna: IAEA, 1999, 60 p.

INTERNATIONAL MACADAMIA SYMPOSIUM, Oct. 14-16, 2012, Brisbane, Queensland, Austrália. *Proceedings...* Disponível em: <http://macadamias.org/pages/internationalsymposium-proceedings>. Acesso em 15 maio 2018.

INTERNATIONAL NUT AND DRIED FRUIT COUNCIL (INC), *World Nut and Dried Fruit Trade Maps*, 2017, Disponível em: www.nutfruit.org Acesso em: 05 dez. 2018.

IQBAL, M., BHATTI, I. A., SHAHID M., NISAR J., Physicochemical characterization, microbial decontamination and shelf life analysis of walnut (*Juglans regia L*) oil extracted from gamma radiation treated seeds, *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 6, p. 116–122, 2016.

JENKINS, D. J., KENDALL, C., W., MARCHIE A., PARKER, T., L., CONNELLY, P., W., QIAN, W., Dose response of almonds on coronary heart disease risk factors: blood lipids, oxidized low-density lipoproteins, lipoprotein(a), homocysteine, and pulmonary nitric oxide: a randomized, controlled, crossover trial, *Circulation*, v. 106, n. 11, p. 1327-1332, 2002.

JORNAL ENTREPOSTO, Exportações de macadâmia decolam no Brasil, *Jornal Entreposto*, Redação, Caderno Negócios, 13 Abril 2016. Disponível em:

<<http://www.jornalentreposto.com.br/noticias/75-negocios/1904-exportacoes-de-macadamia-decolam-no-brasil>> Acesso em: 26 set. 2018.

KASHANI, G., & VALADON, G., Effects of gamma irradiation on the lipids, carbohydrates and protein of Iranian pistachio kernels, *Journal of Food Technology*, v. 19, p. 631–638, 1984.

KUMAR, S., GAUTAM, S., SHARMA, A., Hurdle technology including chlorination, blanching, packaging and irradiation to ensure safety and extend shelf life of shelled sweet corn kernels, *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 39, n. 6, p. 2340–2347, 2015.

KUME, T., FURUTA M., TODOROKI S., UENOYAMA N., KOBAYASHI Y., Status of food irradiation in the world, *Radiation Physics and Chemistry*, v.78, issue 3, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2008.09.009> Acesso em: 09 jan. 2019.

LEFEBVRE, N., THIBAUT, C., CHARBONNEAU, R., PIETTE, J.-P., Improvement of shelflife and wholesomeness of ground beef by irradiation—2, Chemical analysis and sensory evaluation. *Meat Science*, v. 36, n. 3, p. 371–380, 1994.

LEITÃO, M.F.F., *Tratado de Microbiologia*, São Paulo: Mamoli, V. 1, 185p, 1988.

LETERME, P., BULDGEN, A. ESTRADA, F., LONDOÑO, A. M., Mineral content of tropical fruits and unconventional foods of the Andes and the rain forest of Colombia, *Food Chemistry*, v. 95, Issue 4, p. 644-652, 2006.

LEVY, D. S., SORDI, G. M. A. A., VILLAVICENCIO, A. L. C. H., Construindo pontes entre ciência e sociedade: divulgação científica sobre irradiação de alimentos, *Brazilian Journal of Radiation Sciences*, 06-01, 01-13, 2018.

LIMA, J. R., *Avaliação da estabilidade de amêndoas de castanha de caju (Anacardium occidentale) fritas e salgadas acondicionadas em embalagens flexíveis de diferentes propriedades de barreira*. 1997. 118p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas.

LUDWIG, D., G., Noz Macadâmia - Fruto - Semente - Flor - Macadamia Intergrifolia, *Diário com a Natureza*, 09 de jul. 2015. Disponível em: <http://denisegomesludwig.blogspot.com/2015/07/09-de-julho-noz-macadamia-fruto-semente.html> Acesso em: 15 jul. 2019.

MACADAMIA PROCESSING COMPANY (MPC), *Products*, Disponível em: <https://mpcmacs.com.au/products/> Acesso em: 10 jul. 2019.

MACADAMIAS SOUTH AFRICA NPC (SAMAC), *Industry Statistics on the Southern African Macadamia Industry*, Updated 14 May 2018, Disponível em:

<https://www.samac.org.za/industry-statistics-southern-african-macadamia-industry/>

Acesso em: 17 maio 2019.

MACADAMIAS SOUTH AFRICA NPC (SAMAC), *The South African Macadamia Industry*, Updated 2 June 2017, Disponível em: <https://www.samac.org.za/South-african-industry-updated-2-june-2017> Acesso em: 15 março 2019.

MASON, R.L., Macadamia nut quality research: The processing challenge, *Food Australia*, v. 52, n. 9, p. 416-419, 2000.

MASTRO, N. L. d. A radiação ionizante na promoção da alimentação adequada e saudável, Vigilância Sanitária em Debate: Sociedade, *Ciência & Tecnologia*, v. 3, p. 114-121, 2015.

MASTRO, N. L. d. Role of irradiation treatment in the food industry, *International Journal of Nuclear Governance, Economy and Ecology*, v. 3, p. 266-273, 2011.

MERELES, L., G., FERRO, E., A., ALVARENGA, N., L., CABALLERO, S., B., WISZOVATY, L., N., PIRIS, P., A., MICHAJLUK, B., J., Chemical composition of *Macadamia integrifolia* (Maiden and Betche) nuts from Paraguay, *International Food Research Journal*, v. 24, n. 6, p. 2599-2608, 2017.

MEXIS, S.F., Kontominas, M.G., Effect of γ -irradiation on the physicochemical and sensory properties of cashew nuts (*Anacardium occidentale* L.), *LWT - Food Science and Technology*, v. 42, p. 1501–1507, 2009.

MOODLEY, R., KINDNESS, A., JONNALAGADDA, S. B., Elemental composition and chemical characteristics of five edible nuts (almond, Brazil, pecan, macadamia and walnut) consumed in Southern Africa, *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, v. 42, 2007.

MOREDA-PIÑEIRO, J., HERBELLO-HERMELO, P., DOMÍNGUEZ-GONZÁLEZ, R., BERMEJO-BARRERA, P., MOREDA-PIÑEIRO, A., Bioavailability assessment of essential and toxic metals in edible nuts and seeds. *Food Chemistry*, v. 205, p. 146-154, 2016.

NETO, M.M., NOGUEIRA, N.R. O Mercado da Noz Macadâmia e a Agricultura Familiar, In: XXX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO Maturidade e desafios da Engenharia de Produção: competitividade das empresas,

condições de trabalho, meio ambiente, 12-15 de out. 2010, São Carlos, SP, Brasil.

Resumos...

NUNES, T., C., F., *Avaliação Microbiológica, Físico-Química e Sensorial de Salada de Repolho com Cenoura Minimamente Processada após o Tratamento por Radiação Gama Destinado a Pacientes Imunocomprometidos ou com Dietas Especiais*, 2015. 79 p. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Aplicações), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN, São Paulo.

O'NEIL, C. E., KEAST, D. R., FULGONI, V. L., NICKLAS, T. A., Tree nut consumption improves nutrient intake and diet quality in US adults: an analysis of National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) 1999-2004, *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, v. 19, n. 1, p. 142-150, 2010.

OLIVEIRA, A.L., PEREIRA, M.T., BUENO, P.H.S., OLIVEIRA, R.B.P., PINTO, F.C., CORREIA, R.F., MACHADO, M.M., Microbiological evaluation of chicken breast meat irradiated in conventional and vacuum package, *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v. 61, n. 5, p. 1210-1217, 2009.

ORDOÑEZ, J. A., *Tecnologia de Alimentos*, vol. 1, Artmed, 2007.

PARRY, S.J., *Handbook of Neutron Activation Analysis*, Viridian Publishing, United Kingdom, 2003.

PENONI, E. S., *Caracterização produtiva, física e química de cultivares de noqueira-macadâmia*, 2011. 71 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia), Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais.

PRADO, G., CARVALHO, E. P., MADEIRA, J. E. G. C., MORAIS V. A. D., OLIVEIRA, M. S., CORRÊA R. F., CARDOSO, V. N., Gamma-irradiation effect (^{60}Co) in fungi frequency of peanut *in natura* and after storage, *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 30, n. 5, p. 930-936, 2006.

PRAKASH, A., INTHAJAK, P., HUIBREGTSE, H., CAPORASO, F., FOLEY, D.. Effects of lowdose gamma irradiation and conventional treatments on shelf life and quality characteristics of diced celery, *Journal of Food Science*, v. 65, n. 6, p. 1070–1075, 2000.

PREEZ, A. B., *Studies on Macadamia Nut Quality*, 2015. 135 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Agricultura), Stellenbosch University. Disponível em: <https://scholar.sun.ac.za> Acesso em: 15 jul. 2019.

QUEEN NUT MACADAMIA, *Nossa História*, Disponível em: <http://www.queennutmacadamia.com.br> Acesso em 13 de julho de 2019.

RABELO, A. M. S., *Avaliação da secagem, torrefação e estabilidade da castanha de pequi (Caryocar brasiliense Camb.)*, 2007. 45 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

RAVINDRAN, R., JAISWAL, A. K., Wholesomeness and safety aspects of irradiated foods, *Food Chemistry*, 285, p. 363–368, 2019.

REZENDE, A. C. B., *Conservação de espinafre (Tetragonia expansa) pelo emprego de radiação gama: aspectos físico-químicos, microbiológicos e sensoriais*, 2013. 96 p. Tese (Doutorado em Bromatologia), Universidade de São Paulo, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, São Paulo.

ROBERTS, P. B., Food irradiation is safe: Half a century of studies, *Radiation Physics and Chemistry*, 105, p. 78–82, 2014.

ROS, E., Health benefits of nut consumption, *Journal Nutrients*, v. 2, n. 7, p. 652–682, 2010.

RUSIN, T., ARAÚJO, W.; CAMARGO, E.B.; AKUTSU, R. Conhecimento do Consumidor sobre Alimentos Irradiados, *Acta de Ciências e Saúde*, v. 1, n. 1, p. 1-12, 2015.

RUSU, M. E., GHELDIU, A. M., MOCAN, A., VLASEA, L., POPA, D. S., Anti-aging potential of tree nuts with a focus on the phytochemical composition, molecular mechanisms and thermal stability of major bioactive compounds, *Food & Function*, 9, p. 2554–2575, 2018.

RYSER, E. T., SCHUMAN, J. D., Mesophilic Aerobic Plate Count, In: SALFINGER, Y., TORONTELLO, M. L. (eds.), *Compendium of Methods Microbiological Examination of Foods*, 5^a ed., American Public Health Association, Washington D.C., 2015, Chapter 8, p. 95-101.

SARKIS, J. R. *Extração de compostos bioativos de tortas de nozes e sementes e aplicação de tecnologias elétricas no gergelim*, 2014. 228 p. Tese de Doutorado em Engenharia Química na área de Fenômenos de Transporte e Operações Unitárias, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/96642/000917498.pdf?sequence=1> Acesso em: 17 jul. 2019.

SAUNDERS, T., WU, J., WILLIAMS, R. C., HUANG, H., PONDER, M. A., Inactivation of Salmonella and Surrogate Bacteria on Cashews and Macadamia Nuts Exposed to Commercial Propylene Oxide Processing Conditions, *Journal of Food Protection*, v. 81, n. 3, p. 417-423, 2018.

SCHNEIDER, L.M.; ROLIM, G.S.; SOBIERAJSKI, G.R.; PRELA-PANTANO, A.; PERDONÁ, M.J., Agroclimatic zoning for macadamia nut to Brazil, *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal - SP, v. 34, n. 2, p. 515-524, 2012.

SILVA, T. C. A., ARRIECHE, L. S., SARTORI, D. J. M., Desenvolvimento de Novos Produtos da Macadâmia, In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA INICIAÇÃO CIENTÍFICA, *Blucher Chemical Engineering Proceedings*, v. 1, n. 1, dez. 2014. Vassouras, RJ, Brasil.

SILVA, F.A., MAXIMO, G.J., MARSAIOLI Jr, A., SILVA, M.A.A.P., Impact of microwave drying on the sensory profile of macadamia nuts, *Food Science and Technology*, Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 27, n. 3, p. 553-561, Campinas, 2007.

SILVA, N., JUNQUEIRA, V. C. A., SILVEIRA, N. F. A., TANIWAKI, M. H., GOMES, R. A. R., OKAZAKI, M. M., *Manual de Métodos de Análise Microbiológica de Alimentos e Água*, 5ª ed., São Paulo, Blucher, 2017. 560 p.

SILVA, N., JUNQUEIRA, V. C. A., SILVEIRA, N. F. A., *Manual de Métodos de Análise Microbiológica de Alimentos*, 2ª ed., São Paulo, Livraria Varela, 2001.

SILVA, M. G., *Macadâmia Nacional: Tocoferóis e Caracterização Físico-Química*, 2003. 90 p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SILVA JUNIOR, E. A. *Manual de Controle Higiênico-Sanitário em Alimentos*. 5 ed. São Paulo, Livraria Varela, 2002.

SINANOGLOU, V. J. KOKKOTOU, K. ; OTAKIS, C.; STRATI , I.; PROESTOS , C.; ZOUMPOULAKIS , P., Monitoring the quality of γ -irradiated macadamia nuts based on lipid profile analysis and Chemometrics. Traceability models of irradiated samples, *Food Research International*, v. 60, p. 38-47, 2014.

SIQUEIRA, R. S. *Manual de microbiologia de alimentos*. Brasília: EMBRAPA/CTAA, 1995. 159p.

SIRISOONTARALAK, P., SUTHIRAK, P., PAPAKA, K., VONGSAWASDI, P., Development of shelf stable chiffon cake using gamma irradiation, LWT, *Food Science and Technology*, 75, p. 78–84, 2017.

SOBIERAJSKI, G.R.; FRANCISCO, V.L.F.S.; ROCHA, P.; GHILARDI, A.A.; MAIA, M.L. *Macadâmia nuts: production, market and situation in the state of São Paulo*. In: INTERNATIONAL MACADAMIA SYMPOSIUM, 3., 2006, Águas de São Pedro, Associação Brasileira de Noz Macadâmia, 2006. p.83-89.

SOETE, D.; GIJBELS, R. & HOSTE, J. *Neutron activation analysis*, London, Wiley-Interscience, 1972. 485p.

SOUZA, M. L., HOLANDA, L. F. F., MAIA, G. A., JUNIOR, J.C.G, FIGUEIREDO, R. W., Estudo do processamento e estabilidade da farinha de amêndoa da castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.), *Ciência Agronômica*, Fortaleza, v.7, n.1, p 35-42, 1986.

STEPHENSON, R. Macadâmia: Domestication and Commercialisation, *Chronica Horticulturae*, v. 45, n. 2, p. 11-15, 2005.

TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS (TBCA). Universidade de São Paulo (USP). *Food Research Center (FoRC)*. Versão 6.0. São Paulo, 2017, Disponível em: <http://www.fcf.usp.br/tbca/> Acesso em: 15 março 2019.

TAIPINA, M., S., LAMARDO, L., C., A., RODAS, M., A., B., DEL MASTRO, N., L., The effects of gamma irradiation on the vitamin E content and sensory qualities of pecan nuts (*Carya illinoensis*), *Radiation Physics and Chemistry*, 78, p. 611-613, 2009.

TAS, N.G., GOKMEN, V., Phenolic compounds in natural and roasted nuts and their skins: a brief review, *Current Opinion in Food Science*, v. 14. p. 103–109, 2017.

TEISL, M.F, FEIN S.B., LEVY A.S. Information effects on consumer attitudes toward three food technologies: organic production, biotechnology, and irradiation, *Food Quality and Preference*, v. 20, p. 586-596, 2009.

THOMAS, P., Radiation preservation of foods of plant origin, *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 26, p. 313–358, 1988.

TIWARI, U., P., JHA, R., Nutrients, amino acid, fatty acid and non-starch polysaccharide profile and in vitro digestibility of macadamia nut cake in swine, *Animal Science Journal*, v. 88, n. 8, p. 1093-1099, 2017.

TOLEDO, A, BURLINGAME B, Biodiversity and nutrition: a common bath toward global food security and sustainable development, *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 19, p. 477-483, 2006.

TOLEDO PIZA, P. L. B. *Desempenho de unidades de pré-limpeza de frutos de macadâmia (M. integrifolia)*. 2005. 61 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/101820>>. Acesso em: 04 jan. 2019.

TOLEDO PIZA, P.L.B.; MORIYA, L.M. Cultivo da macadâmia no Brasil, Macadamia in Brazil, *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 36, n.1, p. 39-45, Jaboticabal, 2014.

TOLEDO, T. C. F., BRAZACA, S. G. C., ARTHUR, V., PIEDADE, S. M. S., Composition, protein digestibility and deamidation in Brazilian soy cultivars subjected to gamma radiation, *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 27, n. 4, p. 812-815, 2007.

TORTORA, G. J., FUNKE B. R., CASE C. L., *Microbiologia*, 10ª edição, Porto Alegre, Editora Artmed, 2012. 934p.

TUMBA, K., Convective air drying characteristics of ground macadamia nuts, *Scientific Study and Research: Chemistry and Chemical Engineering*, v. 19, n. 3, p. 243-255, 2018.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA), *Food Composition Databases*, Disponível em: <https://ndb.nal.usda.gov/> Acesso em: 03 jan. 2019.

VAN IMPE, J., SMET, C., TIWARI, B., GREINER, R., OJHA, S., STULIC, V., VUKUSIC, T., REZEK JAMBRAK, A., State of the art of nonthermal and thermal

processing for inactivation of micro-organisms, *Journal of Applied Microbiology*, 125, p. 16-35, 2018.

VENKATACHALAM, M., SATHE, S., K., Chemical Composition of Selected Edible Nut Seeds, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, DOI: 10.1021/jf0606959, v. 54, n. 13, p. 4705-14, 2006.

WALTON, D.A.; WALLACE, H.M. Quality changes in macadamia kernel between harvest and farm-gate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 91, p. 480-484, 2011.

WILSON-KAKASHITA, G., GERDES, D., L., HALL, W., R., The effect of gamma irradiation on the quality of english walnuts (*Juglans regia*), *LWT - Food Science and Technology*, v. 28, p. 17-20, 1995.

WORLD HEALTH ORGANIZATION, *Trace Elements in Human Nutrition and Health*, Geneva, p. 242–244, 1996, Disponível em: <http://www.who.int/nutrition/publications/micronutrients/9241561734/en/> Acesso em: 15 jan. 2019.

YANG, Z., WANG, H., WANG, W., QI, W., YUE, L., YE, Q., Effect of 10MeV E-beam irradiation combined with vacuum-packaging on the shelf life of Atlantic salmon fillets during storage at 4 °C, *Food Chemistry*, 145, p. 535–541, 2014.

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.