

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS**

**Efeito do congelamento na estabilidade da castanha-do-Brasil
(*Bertholletia excelsa* HBK)**

JULIANA SANTOS GUALBERTO DA COSTA

MANAUS – AM

2021

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS**

JULIANA SANTOS GUALBERTO DA COSTA

**Efeito do congelamento na estabilidade da castanha-do-Brasil
(*Bertholletia excelsa* HBK)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas da Universidade Federal do Amazonas, como requisito obrigatório para a obtenção do título de Mestre em Ciências Farmacêuticas.

Orientador: Ariane Mendonça Kluczkovski

MANAUS – AM

2021

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Costa, Juliana Santos Gualberto da
C837e Efeito do congelamento na estabilidade da castanha-do-Brasil
(Bertholletia excelsa HBK) / Juliana Santos Gualberto da Costa .
2021
68 f.: il. color; 31 cm.

Orientadora: Ariane Mendonça Kluczkovski
Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) -
Universidade Federal do Amazonas.

1. Conservação. 2. Congelamento. 3. Shelf life. 4. Nozes. 5.
Armazenamento. I. Kluczkovski, Ariane Mendonça. II. Universidade
Federal do Amazonas III. Título

**“Efeito do congelamento na estabilidade da castanha-do-Brasil
(*Bertholletia excelsa* HBK)”**

DISCENTE: JULIANA SANTOS GUALBERTO DA COSTA

PARECER:

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Ciências Farmacêuticas em sua forma final e definitiva pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas da Universidade Federal do Amazonas.

Manaus, AM, 26/07/2021.



Profa. Dra. Ariane Mendonça Kluczkovski
Coordenadora do PPGCF

**A mesma foi apresentada perante a banca composta pelos seguintes
professores:**



Profa. Dra. Ariane Mendonça Kluczkovski
Orientadora e Presidente da Banca (UFAM)



Prof. Dr. Pedro Henrique Campelo Felix
Membro (UFAM)



Profa. Dra. Alessandra Santos Lopes
Membro (UFPA)

Aos meus pais Hideraldo e Mônica,
meu irmão Hideraldo Jr. e minha
irmã Giovanna, pelo apoio e
incentivo para realização deste
trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar, a Deus, pela minha saúde e por iluminar todo o meu caminho dando-me força e coragem durante esta caminhada.

À minha família, Hideraldo, Mônica, Hideraldo Jr. e Giovanna, por ser meu porto seguro, fonte de inspiração, otimismo, obrigada por todo o apoio e amor incondicional durante essa jornada.

À minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Ariane Mendonça Kluczkovski, pela oportunidade de desenvolver este trabalho, pela orientação durante esses anos, pelos direcionamentos na pesquisa e pela confiança depositada em mim.

Aos membros do laboratório NECTA, colegas de laboratório, pelas conversas, pelos incentivos principalmente por todo apoio ao longo desses anos.

Aos meus amigos Samir Carvalho, Luiz Diógenes e Arine Heloíse por todo o apoio, paciência, compreensão durante essa jornada e principalmente pelos momentos de descontração que com toda certeza proporcionaram bons momentos e muitas lembranças.

Aos professores das disciplinas cursadas, pelo conhecimento transmitido durante o curso.

À Universidade Federal do Amazonas, ao Programa de Pós-graduação em Ciências Farmacêuticas, à Faculdade de Ciências Farmacêuticas - UFAM, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas, por proporcionar a realização desse estudo.

A todos vocês, muito obrigada.

RESUMO

A castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* HBK) e seus produtos ganharam espaço significativo no cenário comercial, sendo consumido pela população brasileira e mundial. A amêndoa contém cerca de 60% de óleo e propriedades de alto valor nutritivo, porém tem como fator limitante, a rápida deterioração. As indústrias de castanha-do-Brasil, buscam soluções para evitar a perda do produto devido as condições de armazenamento e ação de enzimas que atuam na degradação dos lipídeos presentes nas amêndoas, ainda no início do processamento melhorando assim a vida de prateleira dos produtos. Devido à importância econômica da amêndoa sob outra forma, além da desidratada, a castanha-do-Brasil congelada foi submetida a duas técnicas de congelamento e avaliada a cada 30 dias durante 6 meses, quanto às características, composição centesimal e a estabilidade. As amostras foram submetidas ao congelamento rápido (-25°C) e ao congelamento lento (-18°C) e armazenadas em baixas temperaturas durante 6 meses. Visualmente as amêndoas de castanha-do-Brasil possuíam características próximas as da fresca (sem desidratação). O índice de acidez e índice de peróxido, analisados a partir do óleo da castanha, são tidos como um dos principais parâmetros para avaliação da qualidade da castanha-do-Brasil e os resultados obtidos demonstram que os dois métodos de congelamento foram eficientes e mostrou-se um bom método de conservação uma vez que os resultados desses índices se mantiveram bem abaixo do limite máximo estabelecido pelas legislações, configurando estabilidade do produto durante tempo de armazenamento. Após as análises estatísticas verificou-se que não houve diferença significativa entre os dois tipos de congelamento ($P > 0,05$) nas análises de umidade, atividade de água, lipídios, índice de acidez e índice de peróxido, demonstrando ambas as técnicas podem ser utilizadas conforme a necessidade e disponibilidade do frio. Os resultados são interessantes para a indústria alimentícia, com a castanha-do-Brasil congelada como um potencial novo produto e para o consumidor final que deseja de conservar as características dessa noz sem prejuízos a sua qualidade.

Palavras-chaves: conservação, congelamento, *shelf life*, nozes, armazenamento, óleo

ABSTRACT

The Brazil nut (*Bertholletia excelsa* HBK) and its products gained significant space in the commercial scenario, being a product widely consumed by the Brazilian and world population. Almond contains a good amount of oil and high food value properties. It is a nutritious food, but its limiting factor is rapid deterioration. The Brazil nut industries are looking for solutions to prevent product loss due to storage conditions and the action of enzymes that act on the degradation of lipids present in almonds, even at the beginning of processing, thus improving the shelf life of the products. Due to the economic importance of the almond in another form, in addition to the dehydrated one, the frozen Brazil nut was submitted to two freezing techniques and evaluated every 30 days for 6 months, for characteristics, proximate composition and stability. The samples were subjected to rapid freezing (-25°C) and slow freezing (-18°C) and stored at low temperatures for 6 months. Visually, Brazil nut almonds had characteristics similar to those of fresh (without dehydration). The acidity index and the peroxide index, analyzed from the nut oil, are considered one of the main parameters for evaluating the quality of Brazil nuts and the results obtained demonstrate that the two freezing methods were efficient and showed if a good method of conservation since the results of these indices remained well below the maximum limit established by legislation, configuring stability of the product during storage time. After the statistical analysis, it was found that there was no significant difference between the two types of freezing ($P > 0.05$) in the analysis of moisture, water activity, lipids, acidity index and peroxide index, demonstrating both techniques can be used according to the need and availability of the cold. The results are interesting for the food industry, with frozen Brazil nuts as a potential new product and for the final consumer who wants to preserve the characteristics of this nut without compromising its quality.

Keywords: conservation, freezing, shelf life, nuts, storage, oil

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Castanheira-do-Brasil (<i>Bertholletia excelsa</i> HBK).....	16
Figura 2 - Ouriço e sementes de Castanha-do-Brasil (<i>Bertholletia excelsa</i> HBK).....	17
Figura 3 - Dados da produção de castanha-do-Brasil do Brasil e do Amazonas nos anos de 2010 a 2019.....	19
Figura 4 - Castanha-do-Brasil (<i>Bertholletia excelsa</i> HBK) <i>in natura</i>	33
Figura 5- Fluxograma do processamento de amostras de Castanha-do-Brasil e aplicação das duas técnicas de Congelamento	35
Figura 6 - Amostras de castanha-do-Brasil do congelamento rápido.....	36
Figura 7 - Amostras de castanha-do-Brasil do congelamento lento.....	36
Figura 8 - Acondicionamento das amostras para o transporte em caixa de isopor.....	37
Figura 9 - Prensa Hidráulica Tecnal – Modelo: TE-09828.....	38
Figura 10 - Taxas de congelamentos das castanhas-do-Brasil a partir dos congelamentos rápido e lento.....	46
Figura 11 - Teor de umidade (%) obtidos das amostras de castanha-do-Brasil <i>in natura</i> e após a aplicação de dois tipos de congelamento, durante 180 dias de armazenamento.....	50
Figura 12 - Valores de atividade de água (A_w) obtidos das amostras de castanha-do-Brasil <i>in natura</i> e após a aplicação de dois tipos de congelamento, durante 180 dias de armazenamento.....	51
Figura 13 - Valores de lipídios (%) obtidos das amostras de castanha-do-Brasil <i>in natura</i> e após a aplicação de dois tipos de congelamento, durante 180 dias de armazenamento.....	52
Figura 14 - Extravasamento da castanha-do-Brasil no momento da prensagem à frio.....	53
Figura 15 - Extravasamento da castanha-do-Brasil no momento da prensagem à frio e aparecimento de extrato leitoso.....	53

Figura 16 - Aparecimento de extrato leitoso no momento da prensagem à frio	54
Figura 17 - Extrato leitoso de castanha-do-Brasil obtido após prensagem à frio	54
Figura 18 - Processo de descongelamento e aparecimento do fenômeno de gotejamento ou “drip”.....	55
Figura 19 - Disposição das castanhas-do-Brasil em bandejas para o processo de secagem.....	56
Figura 20- Valores dos índices de acidez (em mg KOH/g) obtidos das amostras de castanha-do-Brasil <i>in natura</i> e após a aplicação de dois tipos de congelamento, durante 180 dias de armazenamento	57
Figura 21- Valores dos índices de peróxidos (em mEq /Kg) obtidos das amostras de castanha-do-Brasil <i>in natura</i> e após a aplicação de dois tipos de congelamento, durante 180 dias de armazenamento	59

LISTA DE EQUAÇÕES E TABELAS

Equação 1 – Análise de Cinzas.....	39
Equação 2 – Análise de Lipídios.....	40
Equação 3 – Análise de Proteínas ou Fração Nitrogenada.....	41
Equação 4 – Análise de Índice de Acidez.....	42
Equação 5 – Análise Índice de Peróxido.....	42
Tabela 1 - Calor na conservação de nozes de árvores.....	25
Tabela 2 - Amostras, tipo de congelamento e temperaturas de congelamento.....	36

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

cm	Centímetro
DP	Desvio-Padrão
g	Gramma
h	Hora
Kg	Quilograma
kPa	Quilopascal
mEq	Miliequivalente
mg	Miligrama
mL	Mililitro
mm	Milímetro
m	Metro
M	Molar
N	Normal
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada
Se	Selênio
t	Tonelada
µg	Micrograma

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1. Castanha-do-Brasil (<i>Bertholletia excelsa</i> HBK)	16
2.2. Produção de Castanha-do-Brasil.....	17
2.3. Economia e consumo.....	18
2.4. Tratamento térmico em nozes de árvores	21
2.4.1. Calor.....	22
2.4.1.1. Branqueamento	22
2.4.1.2. Secagem.....	23
2.4.2. Frio.....	26
2.4.2.1. Congelamento	27
2.4.2.1.1. Congelamento Rápido e Congelamento Lento.....	29
2.5. Vida-de-prateleira em alimento.....	30
3. OBJETIVOS.....	32
3.4. Objetivo Geral.....	32
3.2. Objetivos específicos	32
4. MATERIAL E MÉTODOS	33
4.1. Obtenção da matéria-prima	33
4.2. Processamento das amostras	33
4.2.1. Congelamento Lento	34
4.2.2. Congelamento Rápido.....	34
4.3. Análises de composição centesimal e análises físico-químicas.....	37
4.4. Caracterização da Matéria-Prima Castanha-do-Brasil <i>in natura</i>	38
4.4.1. Análise de Umidade	39
4.4.2. Análise de Cinzas.	39
4.4.3. Análise de Lipídios.	40
4.4.4. Análise de Proteínas ou Fração Nitrogenada	40
4.4.5. Análise de Atividade de Água (Aw)	41
4.4.6. Índice de acidez	41

4.4.7.Índice de peróxido.....	42
4.5. Caracterização da castanha-do-Brasil congelada.....	43
4.5.1.Análise de Umidade	43
4.5.2.Análise de Lipídios.	43
4.5.3.Análise de Proteínas ou Fração Nitrogenada.....	43
4.5.4.Análise de Atividade de Água (Aw)	43
4.5.5.Índice de acidez	43
4.5.6.Índice de peróxido.....	44
4.6. Análise estatística.....	44
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
5.2. Caracterização das amostras.....	45
5.2.1. Taxa de Congelamento das amostras de castanha-do- Brasil.....	45
5.2.2.Análise de Cinzas	47
5.2.3.Análise de Proteínas ou Fração Nitrogenada.....	47
5.2.4.Análise de Umidade	49
5.2.5.Análise de Atividade de Água (Aw).....	50
5.2.6.Análise de Lipídios	52
5.2.7.Índice de Acidez.....	56
5.2.8.Índice de Peróxido	58
6. CONCLUSÃO.....	61
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

1. INTRODUÇÃO

A busca por alimentos mais saudáveis cresce a cada dia e essa mudança no comportamento das pessoas é resultado das graves consequências do estilo de vida moderno. O sedentarismo, alimentação processada, altos níveis de estresse e poluição ambiental podem causar danos à saúde. Para minimizar os efeitos danosos a saúde a indústria alimentícia buscar produzir alimentos mais saudáveis, processando alimentos com menos aditivos e que demonstrem ter características sensoriais bem próximas as dos alimentos naturais.

Diante desse cenário as nozes comestíveis vêm ganhando espaço na mesa de consumidores por todo o mundo, pois são uma boa fonte de nutrientes como vitaminas, proteínas, fibras, ácidos graxos e vários elementos essenciais. Essas nozes de árvores podem ser encontradas nos mais diversos produtos alimentícios, dos tradicionais aos de dietas especiais ou funcionais (GAMA, 2018).

Outro ponto importante relacionado a produção e comércio das nozes de árvores é a sua rentabilidade, uma vez que têm grande importância no comércio global, principalmente por promoverem uma alimentação mais saudável ao consumidor. São exemplos de nozes de árvores: amêndoa (*Prunus dulcis*), noz-pecã (*Carya illinoensis*), castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*), castanha-de-caju (*Anacardium occidentale L.*), pistache (*Pistacia vera*), avelã (*Corylus avellana*), macadâmia (*Macadamia integrifolia*), noz (*Juglans regia L.*) entre outras (FREITAS & NEVES, 2010).

Dentre as nozes de árvores, a castanha-do-Brasil destaca-se com grande potencial nutricional, sendo fonte de diversos nutrientes que englobam proteínas, fibras, micronutrientes como selênio, magnésio, fósforo, cálcio, ferro, potássio, zinco e cobre. Esta espécie também contém tiamina, niacina, vitamina E e vitamina B₆, por isso tornam-se uma boa alternativa de alimentação saudável. A castanha-do-Brasil têm alto valor nutritivo, contendo 60 a 70% de óleo e 17% de proteína e se destaca por ser a fonte alimentar mais alta conhecida de selênio (YANG, 2009).

Com grande importância econômica, a castanha-do-Brasil é produto do extrativismo vegetal de regiões no interior da Amazônia e sua comercialização é uma das principais fontes de renda para muitas comunidades indígenas e ribeirinhas da Amazônia (CARDOSO et. al., 2017). Apesar da importância econômica a castanha-do-Brasil é suscetível às infecções fúngicas, isso por causa das condições climáticas

da região como a temperatura e umidade, armazenamento inadequado entre outros fatores favorecem o desenvolvimento de microrganismos e conseqüentemente levam a deterioração das castanhas.

Com o objetivo de oferecer aos consumidores alimentos com características mais próximas do natural, a indústria de alimentos lança mão de diversas técnicas buscando a conservação das características sensoriais, nutricionais e prolongando ao máximo a vida de prateleira dos alimentos, evitando o uso de produtos químicos para este fim. Atualmente existe uma demanda entre os consumidores e produtores de castanhas-do-Brasil para que tornem este alimento mais duradouro, justamente para suprir as necessidades do produto nas entressafras e para que seja viável o envio deste produto a longas distâncias sem que o mesmo deteriore rapidamente.

O uso do frio na conservação de alimentos data de muito tempo atrás e o congelamento é muito difundido na indústria alimentícia justamente por garantir uma preservação mais prolongada do alimento impactando o produto de maneira menos agressiva preservando sua qualidade (MULOT et al., 2019). Além disso a técnica mantém e conserva propriedades dos alimentos como composição nutricional, textura e sabor, características buscadas pelos consumidores (LI et al., 2018). O congelamento já é uma técnica aplicada em diversos alimentos como hortaliças, frutas, produtos cárneos entre outros, como método de conservação ou pré-tratamento. O presente trabalho visando novos tratamentos de conservação e assim o aumento do *shelf life* de castanhas-do-Brasil, faz uma análise comparativa dos efeitos da aplicação de dois tipos de congelamento, rápido e lento, e avalia a viabilidade de castanhas-do-Brasil congeladas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* HBK)

As nozes de árvores estão entre os alimentos mais procurados pelos consumidores, pelo fato de ser um grupo de alimentos que reúnem diferentes nutrientes como proteínas, carboidratos e gorduras, além de micronutrientes como potássio, cobre, cálcio e boas quantidades de fibras e vitaminas (GAMA et al., 2018). Entre as principais nozes de árvores está a castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* HBK), semente tropical nativa da região amazônica, que também pode ser encontrada nas regiões próximas como na Bolívia e Peru (BRITO et al., 2019).

Da família *Lecythidaceae* os exemplares da árvore castanheira-do-Brasil, podem atingir uma altura de até 60 m com o diâmetro médio de 100 cm a 180 cm. Estas árvores geralmente são encontradas em bosques entre 50 e 100 exemplares e essas áreas são conhecidas como castanhais (ROCKWELL et al., 2015).



Figura 1: Castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* HBK)

Fonte: <https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-humanas/direto-da-amazonia-livro-revela-como-a-castanha-do-para-ganhou-o-mundo/>

As castanhas-do-Brasil, também chamadas de castanhas-do-pará, são amplamente consumidas pelo mundo, isso porque seus componentes são atrativos quando comparados com outros alimentos, dentre eles podemos citar o alto teor de proteínas (15%), carboidratos (9%) e lipídios (71%), e ainda o alto teor médio de selênio (Se) frequentemente ($290,5 \mu\text{g g}^{-1}$) (STOCKLER-PINTO et al., 2015). Por sua

notável composição nutricional, diversas pesquisas foram desenvolvidas com resultados interessantes, pois ultrapassam o campo alimentício demonstrando ampla aplicação na área da saúde com efeitos na diminuição do risco de doenças cardiovasculares (MOZAFFARIAN, 2016; ROS, 2015), apresentam altos níveis de selênio, que possui papel importante no metabolismo da tireoide (MEPLAN & HESKETH, 2014), doenças neurodegenerativas (CARDOSO et. al, 2015), atuando também na prevenção de câncer (DE FARIAS et al., 2015 ; KOHRLE, 2015).



Figura 2: Ouriço e sementes de Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* HBK)
Fonte: <https://ciorganicos.com.br/sustentabilidade/floresta-de-pe-gera-lucro/>

2.2. Produção de Castanha-do-Brasil

A produção de castanha-do-Brasil é considerada orgânica, pois não é necessário uso de produtos químicos utilizados no controle de pragas e ervas daninhas, principalmente por se tratar de uma espécie considerada selvagem (ROCKWELL et al., 2015) e um produto de antigos sistemas de extrativismo vegetal na região amazônica. A sua produção é tradicional, típico exemplo de atividade extrativista familiar e é basicamente voltada para subsistência de comunidades familiares sem muitos investimentos na área de desenvolvimento tecnológico (CARDOSO et al., 2017).

A coleta da castanha é feita por catadores nativos da região e a comercialização desse produto é uma das principais fontes de renda para muitas comunidades indígenas e ribeirinhas da Amazônia (RIBEIRO et al., 2014). Por ser uma atividade desenvolvida por nativos das regiões interioranas distantes dos grandes centros urbanos, os catadores enfrentam muitas dificuldades para realizar principalmente a

estocagem dos ouriços de castanhas-do-Brasil, acarretando muitas perdas do produto ainda nos castanhais.

Além dessa atividade extrativa possuir baixo nível tecnológico, as condições climáticas da região durante a colheita, que em média possuem temperaturas entre 25°C e 30°C e umidade relativa de 97%, aliada a condições de armazenamento inadequadas tornam as castanhas-do-Brasil coletadas suscetíveis à contaminação, principalmente a fúngica (DE OLIVEIRA et al., 2020). As castanhas nestas condições são corriqueiramente contaminadas por micotoxinas, especialmente as aflatoxinas, altamente tóxicas e cancerígenas predominantemente produzidas por *Aspergillus flavus* e *Aspergillus parasiticus* (MASSI et al., 2014).

Em algumas localidades existem cooperativas localizadas em comunidades mais desenvolvidas que realizam o beneficiamento e venda de castanhas-do-Brasil e são consideradas parte importante da cadeia produtiva dessa noz. As cooperativas na sua maioria estão vinculadas a projetos governamentais de desenvolvimento da atividade extrativista e econômica da região. Essas atuam de maneira intermediária no processo produtivo realizando a compra e o beneficiamento de parte da produção dos coletores de castanhas-do-Brasil das comunidades ribeirinhas garantindo certa segurança econômica a essa população. Além disso estas cooperativas exercem papel importante na economia e no desenvolvimento da região, pois além de absorver a produção dos ribeirinhos promove o beneficiamento e a venda das castanhas-do-Brasil para compradores maiores como as indústrias gerando assim desenvolvimento e fonte renda para a região (KRAG et al., 2017).

2.3. Economia e consumo

A castanha-do-Brasil tem uma grande importância no mercado interno brasileiro uma vez que a mesma é considerada uma *commodity*, pois o seu preço é definido pelo mercado internacional. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a produção de castanha-do-Brasil é uma atividade bastante rentável e o estado do Amazonas tem destaque nesse cenário por ser um dos maiores produtores desse alimento. Em 2019, dentre os produtos não madeireiros do extrativismo vegetal, mais uma vez a produção de castanha-do-Brasil se destaca com aproximadamente 4,5 mil toneladas representando R\$ 135,82 milhões de reais na economia, resultado este 4,5% maior que no ano anterior.

O acompanhamento da produção da castanha-do-Brasil é realizado pelo IBGE e publica anualmente informações da pesquisa Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura ao longo dos anos. Nesse documento constam informações sobre estatísticas da quantidade produzida e o valor das produções obtidas a partir do processo de exploração dos recursos florestais naturais, exploração de áreas florestais plantadas, a área total existente e a área colhida de cultivos florestais. As informações estão organizadas em tabelas e gráficos que destacam os principais resultados da pesquisa, além disso contam notas técnicas relacionadas as coletas de dados da pesquisa (IBGE,2019).

Segundo os dados fornecidos durante o período de 2010 a 2019, o estado do Amazonas figura como um dos maiores produtores de castanha-do-Brasil, seguido do Pará e Acre. Durante esse período a produção do Amazonas representava aproximadamente 37% da produção total do Brasil, como é possível observar no gráfico abaixo (figura 3). Em meados dos anos 2000 o estado do Pará liderava a produção, porém nos últimos cinco anos o estado ocupa o terceiro lugar entre os maiores produtores de castanha-do-Brasil (KRAG et al.,2017). Entre os anos de 2012 e 2015 o estado do Acre esteve na liderança da produção e desde 2016 o Amazonas retomou o lugar de grande produtor de castanha-do-Brasil (IBGE,2021).

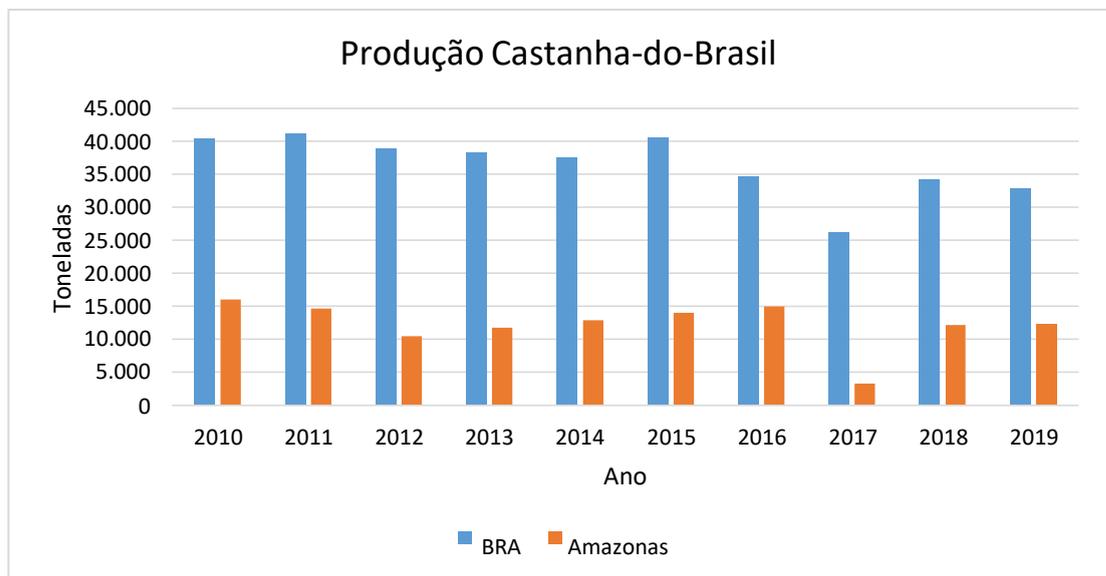


Figura 3- Dados da produção de castanha-do-Brasil do Brasil e do Amazonas nos anos de 2010 a 2019 – Fonte: (IBGE, 2021)

A produção da castanha-do-Brasil é sazonal e são comuns oscilações

decorrentes em parte, da demanda industrial, do preço, da disponibilidade de mão de obra na coleta da fruta entre outros. Além disso quando se fala especificamente da produção de castanhas-do-Brasil, Tonini (2011) e Santana et al. (2017) descreveram que a floração da castanheira-do-Brasil, depende das condições climáticas, pois é anual, longa e sincrônica, ocorrendo predominantemente em média por 6 meses durante a época de menor precipitação. Estes achados indicam que a ocorrência de variações no nível das chuvas influencia diretamente o comportamento fenológico da castanheira, acarretando em possíveis perdas de produtividade da castanha.

Os castanhais, ocupam mais de 320 milhões hectares distribuídos entre Brasil, Bolívia e Peru. Ainda que o Brasil detenha a maior área, a Bolívia atualmente é o principal produtor mundial de castanha-do-Brasil (41,6% da produção total), seguido pelo Brasil (35,4%) e Peru. Recentemente, países da África Ocidental ganharam destaque devido à produção de castanha-do-Brasil, entretanto ainda representam uma pequena parcela do mercado mundial (CARDOSO et al. 2017).

Em relação ao consumo, o produto mais importante é a sua amêndoa que pode ser consumida como lanches rápidos ou na forma de acompanhamentos de refeições. Além disso este tipo de castanha também pode ser matéria-prima para a produção de diversos produtos, como a produção de óleo, ingredientes de barras de cereais, biscoitos, pães, balas entre outros (MORAES DE BRITO et al., 2019). O óleo obtido da castanha-do-Brasil pode ser utilizado também em produtos farmacêuticos como cosméticos e suplementos alimentares. Outro produto que pode ser obtido a partir da castanha-do-Brasil é um extrato chamado leite, que pode ser utilizado na culinária especializada e em formulações de alimentos para pessoas com intolerância à lactose, tornando um produto ainda mais atrativo para as indústrias alimentícias, pois cada dia que passa existe um número maior de consumidores com quadros de intolerância à lactose no Brasil e no mundo. E o resíduo produzido após a operação de extração do óleo da castanha-do-Brasil, já desperta o interesse por parte dos pesquisadores, pois já foi observado alto teor de proteínas neste e possivelmente pode ser utilizado em novos produtos, significando um aproveitamento quase total da castanha-do-Brasil (KLUCZKOVSKI et al., 2015).

Um dos componentes de maior destaque da castanha-do-Brasil quando comparado às outras castanhas são os altos níveis de selênio (Se) (SILVA JUNIOR et al. 2017). Dentre os inúmeros componentes da castanha-do-Brasil, o selênio, tem

importância por ser um nutriente essencial para seres humanos e outros organismos

(VRIENS et al., 2016). Este micronutriente desempenha funções importantes no sistema imunológico, reduz infecções virais, atua no bom metabolismo do hormônio tireoidiano, está envolvido na prevenção de doenças cardiovasculares, exerce influência na fertilidade, na reprodução e estudos demonstram que o Se está envolvido na redução do estresse oxidativo e quadros inflamatórios (RAYMAN, 2012). Um estudo realizado por STOCKLER-PINTO et al. (2015), demonstrou que a ingestão de Se pelo consumo de castanha-do-Brasil promove efeitos positivos como os anti-inflamatórios e os antioxidantes em pacientes que realizam tratamento de hemodiálise, melhorando a atividade da enzima Glutathione peroxidase contra os radicais livres. Além disso, o consumo de castanha-do-Brasil pode melhorar o perfil lipídico, promovendo efeitos benéficos nos níveis de colesterol das lipoproteínas de alta densidade, sendo uma alternativa para pessoas obesas que buscam uma redução de riscos associados a doenças cardiovasculares (COMINETTI et al., 2012). A recomendação para ingestão diária de Se atualmente foi estabelecida em $60 \mu\text{g dia}^{-1}$ para mulheres adultas e $70 \mu\text{g dia}^{-1}$ para homens adultos, tendo seu limite diário seguro fixado em $400 \mu\text{g dia}^{-1}$ (KIPP et al., 2015).

2.4. Tratamento térmico em nozes de árvores

A conservação de alimentos por longos períodos ainda é um dos principais desafios das indústrias alimentícias. Além disso, oferecer ao mercado consumidor alimentos com as características preservadas, e mais próxima do natural, exigem o uso de diversas técnicas que comprometam minimamente as características físico-químicas do alimento. E, levando em consideração que a colheita dos ouriços de castanha-do-Brasil ainda são uma típica atividade extrativista, sem nenhuma ajuda tecnológica ou processamento automatizado, as castanhas sofrem ações das condições ambientais e más condições de armazenamento. Diante dessa situação, técnicas de preservação do alimento que garantam condições de armazenamento melhores até o momento do processamento ou consumo faz-se necessária. E aplicação dessas técnicas aumentam o *shelf life* o que é bom tanto para a indústria de alimentos quanto para o consumidor final, principalmente quando se trata de alimentos sazonais.

2.4.1. Calor

Dentre as principais técnicas utilizadas no processamento de castanha-do-Brasil que usam o calor, está a secagem em sol e a que utiliza o ar quente. Este tipo de técnica tem o objetivo de prevenir o crescimento microbiano em alimentos. Além disso, o calor utilizado na secagem causa uma redução na umidade relativa em alimentos como nozes.

A redução de umidade é boa para o processamento, estudos recomendam valores de umidade entre 1,5% a 10% dependendo do tipo de noz, pois nesse intervalo as nozes de árvores têm mais resistência a oxidação no período de armazenamento. Os teores de umidade têm influência direta no crescimento microrganismos que atacam nozes de árvores. E estudos já observaram que a atividade enzimática e as reações químicas são reduzidas em nozes secas (BUTHELEZI et al., 2019).

2.4.1.1. Branqueamento

Dentre as principais técnicas que utilizam o calor está a técnica chamada de branqueamento convencional ou a que utiliza água quente na qual os alimentos, principalmente frutas e vegetais, são imersos em água quente com temperatura que varia de 70°C e 100°C por alguns minutos e posteriormente são submetidos a drenagem e resfriados para que então seja continuado o processamento (XIAO et al., 2017).

A técnica é amplamente utilizada na indústria alimentícia e reconhecida como uma das mais importantes tecnologias de pré-tratamento de alimentos de origem vegetal. Normalmente esta é aplicada antes de processos como a secagem, congelamento, fritura e conservas. O objetivo da técnica é retardar o processo de degradação e o odor desagradável do alimento, pela inibição ou a redução das atividades enzimáticas. Além disso a inibição dessas enzimas melhora a estabilidade da textura e a qualidade nutricional dos alimentos além de conseguir destruir uma certa quantidade de microrganismos contaminantes.

Apesar dos benefícios da técnica, existem alguns pontos de alerta como a perda de nutrientes dos alimentos como os nutrientes solúveis em água como: carboidratos, vitaminas, minerais, proteínas e outros componentes termossensíveis como produtos aromáticos e o ácido ascórbico e alguns problemas relacionados ao

ambiente como o descarte da água residual do processo. Quando comparada a outras tecnologias que utilizam o calor esta proporciona vantagens como: maior temperatura nas partículas de líquidos, aquecimento uniforme, redução de incrustações, além de menor custo e melhor eficiência energética (KIM & KANG, 2017). Segundo Prestes et al., 2019, no processamento de amendoins a técnica de branqueamento é utilizada para separar a semente da pele. O tempo de exposição e a temperatura utilizados dependem do protocolo empregado em cada estudo. Normalmente o branqueamento seco é o mais utilizado, assim no estudo com os amendoins estes inicialmente são submetidos a um tratamento térmico leve, seguido pela remoção mecânica da pele.

Uma técnica mais moderna é o chamado branqueamento por infravermelho, nesta técnica o aquecimento é produzido por radiação eletromagnética das regiões das ondas micro-ondas (1–1000 mm) e da luz visível (0,38–0,78 μm), isso ocorre devido aos movimentos rotacionais e vibracionais das moléculas e dessa forma o calor é gerado. E o poder de penetração das ondas varia de acordo com a composição do alimento (XIAO et al., 2017). Existem duas formas de aplicar o aquecimento nesta técnica: modo contínuo onde a radiação é constante ideal para inativar as enzimas de forma rápida e o tipo intermitente o qual ocorre uma oscilação entre a geração e não geração de radiação e a escolha do tipo e do tempo da aplicação da técnica depende da natureza do alimento.

2.4.1.2. Secagem

Assim que termina a etapa de colheita alimentos como as nozes devem passar por algum tipo de técnica de secagem para que o alimento se torne mais viável para a continuidade do processamento, isso possibilita a ampliação da vida-de-prateleira. A aplicação de secagem promove uma redução dos fatores que contribuem acelerando o processo de degradação dos alimentos. A secagem é uma operação unitária que visa retirar a água de um produto, alimentício ou não, por meio de evaporação ou sublimação através da aplicação de calor sob condições de processamento controladas. Assim a proliferação de microrganismos que é inibida e o calor interfere nas reações bioquímicas relacionadas a degradação do produto, porém para que a secagem seja eficiente é necessário conhecer as características do alimento e qual metodologia é mais adequada ao produto.

Um estudo avaliou a secagem de alimentos, onde foi aplicada a técnica de secagem utilizando ar quente de convecção forçada e aspersão de Etanol 70% por um curto tempo. Este estudo foi realizado nos Estados Unidos, pois neste país existe uma grande necessidade em reduzir consideravelmente os casos de Salmonelose veiculados por nozes de árvores (amêndoas, nozes, pistache), alimentos muito consumidos no país. Neste estudo após a aplicação de uma temperatura de secagem de 115°C foi conseguida uma redução de 2% na umidade, trazendo resultados positivos uma vez que foi eficiente na inibição do crescimento microbiológico (SALAZAR et al., 2017).

Alguns estudos já foram realizados em avelãs do Oregon (*Corylus avellana L.*) por exemplo, no qual foram avaliados a influência da temperatura de secagem e a umidade relativa. A conclusão da pesquisa demonstrou que a secagem era indispensável para um bom e seguro armazenamento e outro ponto importante observado diz respeito a umidade relativa, em alguns casos dependendo das características das nozes, pode exercer mais influência do que a própria temperatura de secagem na aceleração de processos bioquímicos (WANG et al., 2018).

Na cadeia produtiva de castanha-do-Brasil, a secagem ocorre em diversos momentos, inicialmente ainda nas regiões produtoras com maior estrutura e outras após a chegada à usina de beneficiamento. Nas usinas de beneficiamento de castanha-do-Brasil são utilizados secadores rotativos ou de bandeja, estes fornecem aquecimento a temperaturas em torno de 50°C a 70°C, já o tempo de exposição das castanhas variam de acordo com o tamanho de classificação e o teor prévio de umidade (KLUCZKOVSKI et al., 2020). Na tabela 1, estão descritas as faixas de umidade eficientes para conservação de nozes de árvores anteriormente relatadas na literatura, essas informações são importantes para futuras pesquisas desenvolvidas com nozes e podem servir ainda como guia.

A aplicação de calor em tratamentos pré-armazenamento de nozes de árvores como por exemplo Amêndoa (*Prunus dulcis*), Castanha-portuguesa (*Castanea sativa*), Noz Pecã (*Carya illinoensis*), Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*), Macadâmia (*Macadamia integrifolia*), Pistache (*Pistacia vera*), Noz (*Juglans regia L.*) entre outras já é bastante relatada na literatura.

Tabela 1: Calor na conservação de nozes de árvores

Matriz	Método de secagem	Temperatura aplicada (C°)	Teor de Umidade (%)	Autores
Amêndoa (<i>Prunus dulcis</i>)	Forno de convecção	45 - 95	4,8	Rogel-Castillo et al. (2017)
Castanha-portuguesa (<i>Castanea sativa</i>)	Secador de Bandeja	50	10,3	Delgado et al. (2016)
Noz Pecã (<i>Carya illinoensis</i>)	Secagem de ar assistida por Micro-ondas	25 – 85	Redução de 19 – 16	Zhang et al. (2018)
Castanha-do-Brasil (<i>Bertholletia excelsa</i>)	Secador Rotativo	70	Abaixo de 5	Kluczkovski et al. (2020)
	Secador de convecção natural	45	Redução média de 39,57%	Da Costa et al. (2017)
Macadâmia (<i>Macadamia integrifolia</i>)	Secagem de ar quente	40 – 60	1,5	Buthelezi et al. (2019)
	Forno convencional	30 - 40	1,5	
	Bomba quente	40 - 60	1,5	
Pistache (<i>Pistacia vera</i>)	Torrefação	150	2,5	Balbay et al. (2019)
Noz (<i>Juglans regia L.</i>)	Forno de secagem	60 - 140	3,7	Han et al. (2019)

Fonte: (COSTA e KLUCZKOVSKI, 2021, p.431)

2.4.2. Frio

O uso do frio para fins de conservação de alimentos data de muito tempo atrás. A maioria dos alimentos necessitam de técnicas de conservação que retardem a degradação ou que mantenham por mais tempo as características naturais de alimentos como frutas, verduras ou produtos de origem animal, assim técnicas que utilizam o frio como o congelamento é um dos métodos mais utilizados para este fim (PALACZ et al., 2021).

A maior parte dos alimentos de origem vegetal como por exemplo a castanha-do-Brasil tem sua produção regida por períodos sazonais e as regiões produtoras geralmente estão localizadas em regiões geográficas distantes dos grandes centros urbanos. Diante dessa realidade existe uma grande necessidade por parte das indústrias de técnicas que consigam uma preservação efetiva desses alimentos ou que pelo menos retardem as reações envolvidas na degradação (COSTA & KLUCZKOVISKI, 2021, p. 426).

Na constante busca de produzir alimentos com características próximas a do alimento fresco, a indústria alimentícia se transforma a todo instante conforme a demanda e a necessidade do mercado consumidor. E o maior desafio é a manutenção do frescor dos alimentos durante toda a cadeia produtiva, visando isso o resfriamento e o congelamento são os tratamentos utilizados após a etapa da colheita para prolongar a vida útil de um alimento (STEBEL et al.,2020).

A aplicação do frio visando a conservação de alimentos é bastante difundido em produtos de origem animal, como carnes e peixes, mas também já são aplicados em produtos de origem vegetal como frutas e verduras. Existem diversas vantagens relacionadas as técnicas que utilizam o frio, principalmente sobre questões de higiene e saúde, justamente pelo fato de tornar o alimento seguro do ataque de microrganismos associados às doenças transmitidas por alimentos. O frio é reconhecido por inibir ou diminuir o crescimento de microrganismos, além disso retarda também as reações químicas e enzimáticas, ou seja, o processo fundamental para uma boa conservação é que se mantenha a temperatura abaixo da ideal de crescimento dos microrganismos (LEONARDI & AZEVEDO, 2018).

Existem dois principais tipos de conservação em que se aplica o frio, são eles a refrigeração e o congelamento. E a aplicação de determinada técnica vai depender

do tipo de produto e do tempo de conservação que se deseja chegar. Existem algumas diferenças básicas entre refrigeração e congelamento.

Na refrigeração a diminuição da temperatura não é tão brusca quanto a do congelamento e permanecem em torno de 0°C a 7°C, normalmente utiliza-se essa técnica para conservação temporária até que seja aplicado outro tratamento ou o alimento seja consumido, além disso os impactos sensoriais e composição nutricional são mais brandos. Na refrigeração o ciclo reprodutivo dos microrganismos é inibido e conseqüentemente a deterioração dos alimentos é diminuída impedindo assim que estes causem danos nos alimentos, mantendo a qualidade original do alimento e prolongando um pouco mais a sua vida útil. (LEONARDI & AZEVEDO, 2018).

Já no congelamento, para se alcançar a eficiência no processo é necessário que as temperaturas atinjam - 18°C ou inferiores. A partir da temperatura de -18°C ou menores ocorre a inibição das atividades dos microrganismos, as reações metabólicas são tão lentas que podem ser consideradas nulas. No congelamento também ocorre a formação de gelo a partir da água que seria utilizada pelos microrganismos para o seu crescimento. Esta técnica é ideal para a conservação de alimentos ao longo prazo. É importante salientar que o congelamento não influencia a qualidade do produto, apenas aumenta a vida de prateleira com alterações mínimas na qualidade do alimento quando o processo como um todo é bem controlado e realizado de forma adequada (ZHU et al., 2020). Como a técnica utilizada no desenvolvimento neste trabalho foi o congelamento, esta será discutida de maneira mais aprofundada.

2.4.2.1. Congelamento

Os métodos de congelamentos convencionais podem ser divididos em quatro tipos: congelamento por ar, por contato, por imersão e congelamento por aspersão com líquidos resfriados. Dentre os principais objetivos do processo de congelamento estão a redução da atividade enzimática e quantidade de água dos alimentos, o que leva a uma diminuição das reações de deterioração dos alimentos e conseqüentemente promove o aumento a vida útil dos alimentos congelados (ZHU et al., 2020).

Dentre os tipos de sistemas de congelamento utilizados na indústria de alimentos, o congelamento por meio de sistemas frigoríficos é amplamente difundido

tanto em grandes indústrias como em pequenas empresas de produtos alimentícios. Nos sistemas frigoríficos existem os chamados túneis de congelamento que podem ainda ser divididos pela a dinâmica em que ocorre o processo de congelamento como: túneis de ar clássico, contínuos, por ar forçado, leite fluidizado, congelamento em espiral entre outros. O principal deles é o túnel de ar clássico muito utilizado em indústria para congelamento e conservação principalmente de produtos como pescado, carnes, polpa de frutas, pães entre outros (LEITÃO, 2015).

O termo utilizado para designar o processo, túnel, tem a função formar a ideia de um local restrito e isolado, com finalidade de promover uma maior circulação de ar frio sobre o alimento e assim alcançar um congelamento em menor tempo possível. Nesse sistema como o local encontra-se restrito ocorre um intenso contato do ar frio com o alimento e assim o congelamento utilizando esse sistema ocorre em poucas horas ou até minutos. O princípio básico do sistema é a potência frigorífica e ventilação elevada sobre o produto. Além disso existem túneis de congelamento estáticos e dinâmicos, onde ocorre a movimentação dos produtos durante o processo (LEITÃO, 2015).

Já foi relatado na literatura que um parâmetro chamado taxa de congelamento tem influência direta na qualidade do produto congelado. E a diferença entre congelamento rápido e lento se dá pelo tipo de taxa de congelamento aplicada no processo.

A taxa de congelamento é o parâmetro usado para fazer uma comparação entre a velocidade de operação necessária para passar pela zona crítica, onde ocorre formação de cristal de gelo e determina a quantidade e o tamanho dos cristais de gelo formados. A taxa de congelamento além de exercer forte influência na formação de cristais e também influência sua localização no alimento (TRUELL et al., 2020). As rápidas taxas de congelamento, promovem o aumento da nucleação dos cristais de gelo formados e como resultado são produzidos cristais de gelo menores e distribuídos de maneira uniforme quando comparação com taxas de congelamento mais lentas (KIM et al., 2018). A partir dos diversos estudos descritos na literatura as taxas de congelamento lentas, são reconhecidas por promover danos as estruturas dos alimentos, como na estrutura de músculos (TRUELL et al., 2020) e na estrutura dos tecidos vegetais. Da mesma forma que foi observado o contrário, quando se tem taxa de congelamento rápida ocorre a formação de cristais de gelo finos que o afetam

significativamente menos a integridade das estruturas dos alimentos. Dependendo do tipo de taxa de congelamento temos dois tipos principais, o chamado congelamento lento e o congelamento rápido.

2.4.2.1.1. Congelamento Rápido e Congelamento Lento

A técnica de congelamento rápido promove a diminuição da temperatura de frutas e vegetais até o ponto de congelamento de maneira rápida e em um período de menor quando comparado ao congelamento lento. Além da vantagem em relação à economia de tempo, este tipo de congelamento preserva as características sensoriais e sua qualidade nutricional não é tão afetada. Essa é uma grande vantagem uma vez que o consumidor final busca um alimento com características semelhantes ao alimento *in natura* (XIN et al., 2015).

A alta taxa de congelamento existente no congelamento rápido é capaz de originar numerosos cristais de gelo pequenos e finos. Esses cristais formados causam menos destruição nas estruturas celulares dos alimentos e promovem uma boa conservação, uma vez que causa menos mudanças internas na estrutura de materiais alimentares congelados e menores alterações sensoriais (LI et al., 2018). Em estudos realizados anteriormente usando o frio, os resultados demonstraram que o congelamento rápido é menos impactante na qualidade do alimento (STEBEL et al., 2020). Cristais de gelo menores estão associados a maior qualidade, com menor perda por gotejamento e boa textura (RODEZNO et al., 2013).

Já existem técnicas mais modernas de congelamento rápido como: congelamento assistido por campo magnético, congelamento assistido por alta pressão, congelamento assistido por micro-ondas e congelamento assistido por ultrassom. Estas técnicas foram desenvolvidas para melhorar o processo de nucleação do gelo e também aumentar as taxas de congelamento, visando a formação de pequenos cristais e mais uniformes garantindo a melhor da qualidade do alimento (ZHU et al., 2020).

Quando se trata de congelamento lento, devido à baixa taxa de congelamento associada a este tipo de processo, tem-se como resultado a formação de um pequeno número de cristais de gelo de tamanho grande, os quais em sua maioria localizam-se no meio extracelular causando destruição da estrutura celular interna das amostras de alimentos (ZHU, 2020). A mudança na qualidade dos alimentos congelados como

a perda de textura e de sabor é ocasionado pela ação mecânica oriunda da formação de cristais de gelo grande e também por um estresse bioquímico (DALVI-ISFAHAN et al., 2019).

Atualmente, o armazenamento de grãos a longo prazo utilizando temperaturas quase congelantes mostra-se um sistema eficaz e abre caminho para aplicação em outros tipos de alimentos de origem vegetal (CAI et al., 2017).

Em relação ao congelamento de nozes de árvores alguns estudos já foram realizados em noz-pecã (*Carya illinoensis*) onde as amostras foram submetidas as temperaturas de ($-24^{\circ}\text{C} \pm 1$, $4^{\circ}\text{C} \pm 2$ e $22^{\circ}\text{C} \pm 1$), visando a redução de microrganismos (BRAR et al., 2015). Por outro lado, o congelamento de nozes de árvores possui pontos negativos, como no estudo realizado em castanha-portuguesa (*Castanea sativa*) congelada, onde observou-se que houve maiores custos em relação aos requisitos de energia para armazenamento congelado (fábrica, varejo e domicílio) e perdas de processamento, quando comparados as frescas (ROSA et al., 2017). Sobre estudos de congelamento de castanha-do-Brasil, estes ainda são escassos na literatura.

2.5. Vida-de-Prateleira em alimentos

Vida-de-prateleira, prazo de validade, tempo de vida útil de alimentos ou *shelf life* são algumas das nomenclaturas utilizadas para definir o período de tempo no qual os alimentos estão próprios para o consumo e comercialização, além disso também é um parâmetro utilizado para garantir a qualidade e segurança dos alimentos. Esse tempo é estimado admitindo que exista o armazenamento adequado, com condições de temperatura e umidade controladas (KIM et al., 2020)

No entanto, existem fatores que podem influenciar o tempo de vida-de-prateleira como o armazenamento inadequado, onde ocorrem variações de temperatura, essa situação pode ocorrer em diversas etapas da cadeia de produção desde o transporte até o local de venda. Outro ponto de alerta é o rápido desenvolvimento de microrganismos em alimentos em ambientes de controle inadequado de temperatura o que torna o alimento impróprio para o consumo, gerando desperdícios (GÖRANSSON et al., 2018).

O desenvolvimento microbiano nos alimentos e as reações químicas que estes promovem, estão diretamente relacionadas com a deterioração de alimentos e surtos de doenças, gerando resultados negativos como diminuição do tempo de prateleira, falta de segurança do alimento e perda de confiança por parte dos consumidores e principalmente perdas econômicas. A prevenção do crescimento microbiano e a inibição da geração de radicais livres em alimentos e produtos alimentícios são importantes para aumentar a vida-de-prateleira do produto (COSTA e KLUCZKOVSKI, 2021, p.427).

Outro ponto importante na cadeia produtiva visando o aumento da vida útil de um produto, é a utilização de embalagens apropriadas e inteligentes, as quais têm sido utilizadas como forma de contribuir ainda mais para o aumento da vida útil, além disso embalagens de material reciclável tem sido visto com bons olhos pelas indústrias e consumidores (NWABOR et al.,2020).

O prejuízo das indústrias devido ao descarte de alimentos é um dos maiores ônus e impactam diretamente as economias globais. A maior parte dos alimentos desperdiçados podem estar relacionados as condições de armazenamentos deficientes e que afetam diretamente a qualidade dos mesmos, diminuindo o prazo de validade impresso nos rótulos de alimentos que são oferecidos ao mercado consumidor. Devido às más condições, os prazos de validade dos alimentos tornam-se não confiáveis e não cumprem o tempo estimado de consumo (GÖRANSSON et a., 2018).

O tempo de vida útil do alimento pode diminuir ainda na medida em que o alimento é exposto a diferentes condições de armazenamento. O prazo de validade é estimado utilizando condições previamente definidas, com temperatura ideal, umidade ideal, tipo de embalagem, se protegido da luz ou não entre outras. Então, possivelmente o prazo de validade sofre alterações dependendo de como o alimento é tratado desde a produção até o consumo final. Esse prazo de validade também é estabelecido garantindo a qualidade e a segurança dos alimentos (GAMA et al.,2018).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Avaliar a estabilidade, características e composição centesimal das amêndoas de castanha-do-Brasil, após diferentes técnicas de congelamento, por um período de 6 meses.

3.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a composição centesimal das amêndoas de castanha-do-Brasil *in natura*;
- Avaliar a estabilidade das amêndoas de castanha-do-Brasil, submetidas a diferentes técnicas de congelamento, segundo parâmetros de umidade, atividade de água, índice de acidez, índice de peróxido e lipídios, durante o armazenamento por um período de 6 meses.

4. MATERIAL E MÉTODOS

As análises de composição centesimal e físico-químicas das castanhas *in natura*, das castanhas congeladas embaladas à vácuo e do óleo oriundos de castanhas-do-Brasil congeladas, foram realizadas no laboratório Núcleo de Estudos em Composição e Toxicologia de Alimentos (NECTA) da Faculdade de Ciências Farmacêuticas (FCF) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), por um período de 6 meses.

4.1. Obtenção da matéria-prima

As amostras frescas de castanha-do-Brasil com casca, de tamanho médio, oriundas da safra de 2019/2020, foram adquiridas comercialmente em mercado localizado no centro da cidade de Manaus – AM, localização (3°08'27.5"S 60°01'19.0"W). No total foram adquiridos 4 quilos de castanha-do-Brasil com casca.



Figura 4: Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* HBK) *in natura*

Fonte: Própria

4.2. Processamento das amostras

As castanhas-do-Brasil foram descascadas utilizando um descascador manual de castanhas no NECTA-FCF-UFAM. Após o descasque as amêndoas ou castanha sem cascas, foram higienizadas com solução de hipoclorito de sódio com teor de Cloro ativo 2,0 a 2,5% p/p por 15 minutos, foi utilizada 1 colher de sopa (aproximadamente 15 ml) para 1 Litro de água utilizado, após isso as amostras foram lavadas em água corrente potável para retirada do excesso. Posteriormente a essa etapa, as castanhas sem casca foram embaladas à vácuo em embalagens de Polietileno de Baixa

Densidade transparente e com ranhuras em pacotes com pesos de 300g e identificados com um número específico de cada amostra e então submetidas a diferentes técnicas de congelamento (Congelamento Lento e Congelamento Rápido) descritas posteriormente na tabela 2.

4.2.1. Congelamento lento

Após as etapas de higienização e pesagem, as amêndoas de castanhas-do-Brasil embaladas à vácuo em embalagens de Polietileno de Baixa Densidade transparente e com ranhuras transparente foram submetidas ao congelamento lento realizado em freezer vertical Consul – Modelo: CVU18. Cada pacote de castanha-do-Brasil de 300g com sua respectiva identificação foi submetido ao congelamento lento sob temperatura aproximada de congelamento de -18°C e posteriormente armazenados ao abrigo da luz solar no mesmo freezer, com temperatura de armazenamento de -18°C até o dia das análises. O tempo aproximado para o efetivo congelamento foi de aproximadamente 6 horas. Foram realizadas verificação de temperatura a cada 30 minutos utilizando Termômetro Infravermelho SCAN TEMP - Modelo ST-600, Marca: Incoterm, para acompanhar a evolução da temperatura de congelamento dos pacotes de castanhas-do-Brasil dentro do freezer vertical. As castanhas congeladas armazenadas foram submetidas a análises físico-químicas a cada 30 dias, durante 6 meses.

4.2.2. Congelamento rápido

Após as etapas de higienização e pesagem, as amêndoas de castanha-do-Brasil embaladas à vácuo em embalagens de Polietileno de Baixa Densidade transparente e com ranhuras transparente iguais as utilizadas no congelamento lento, foram submetidas ao congelamento rápido utilizando o método de congelamento por ar, em túnel de congelamento rápido. Para realizar esse tipo de congelamento os pacotes de castanha foram congelados em câmara fria de congelamento (Câmara Fria Gallant – modelo: 08C-DCP) com circulação de ar, que alcança uma temperaturade congelamento de próxima de -25°C .

O tempo para o efetivo congelamento foi de aproximadamente 2 horas. Foram realizadas verificação de temperatura a cada 30 minutos utilizando Termômetro Infravermelho SCAN TEMP - Modelo ST-600, Marca: Incoterm, para acompanhar a

evolução da temperatura de congelamento dos pacotes de castanhas-do-Brasil dentro da câmara fria de congelamento. Cada pacote de castanha de 300g com sua respectiva identificação foi armazenada em freezer vertical Consul – Modelo: CVU18, sob temperatura de -18°C ao abrigo da luz solar, da mesma forma que as amostras do congelamento lento. As castanhas congeladas armazenadas foram submetidas a análises físico-químicas realizadas a cada 30 dias, durante 6 meses.

A seguir na figura 5 tem-se um fluxograma com todas as etapas do desenvolvimento deste estudo.

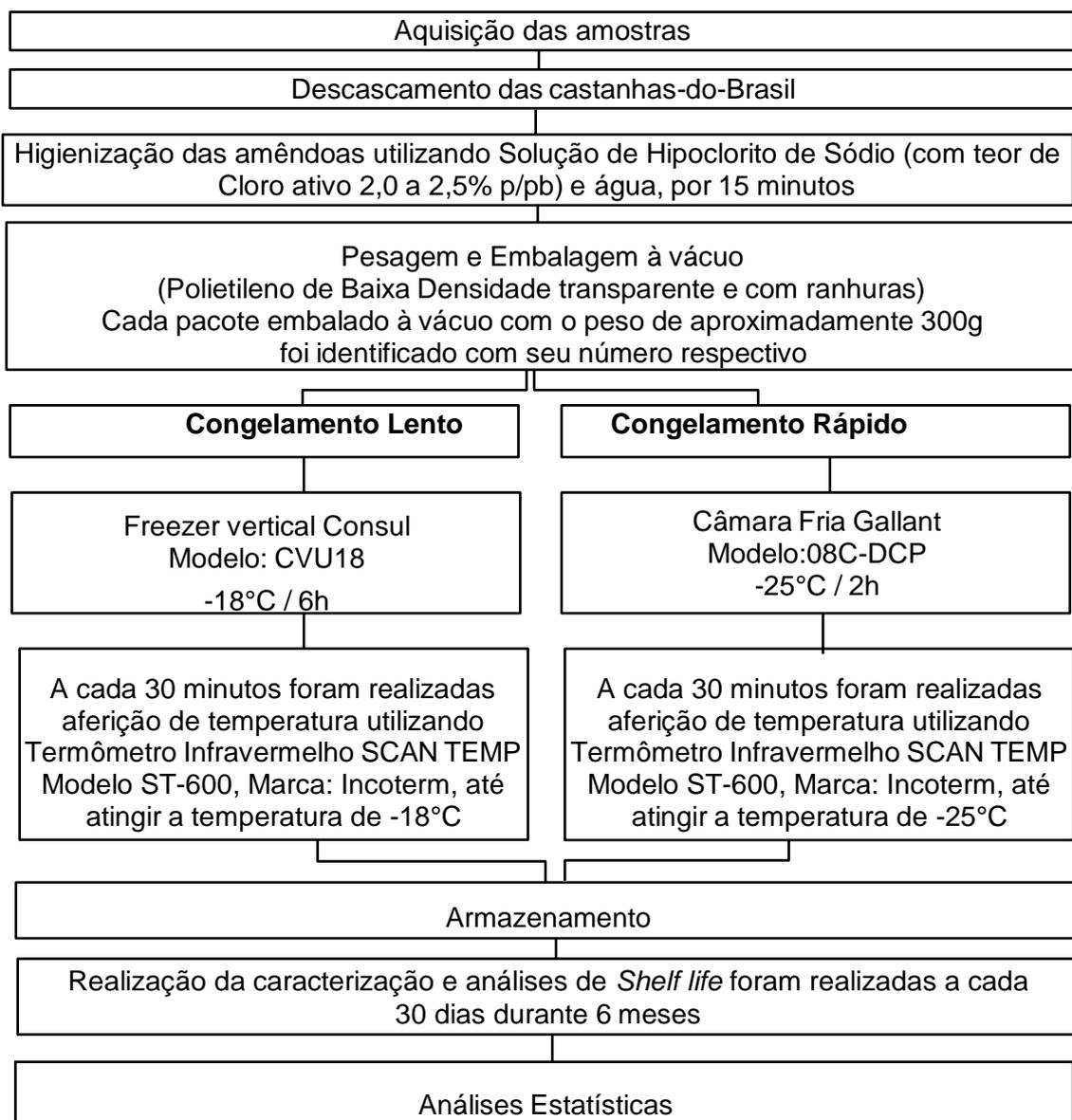


Figura 5: Fluxograma do processamento de amostras de Castanha-do-Brasil e aplicação das duas técnicas de Congelamento

Fonte: Própria

As amostras e o tipo de congelamento realizados estão descritos conforme a tabela 2.

Tabela 2: Amostras, tipo de congelamento e temperaturas de congelamento

Amostra	Tipo de Congelamento	Temperatura de Congelamento
01	Rápido	- 25°C
02	Rápido	- 25°C
03	Rápido	- 25°C
04	Rápido	- 25°C
05	Rápido	- 25°C
06	Rápido	- 25°C
07	Lento	-18°C
08	Lento	-18°C
09	Lento	-18°C
10	Lento	-18°C
11	Lento	-18°C
12	Lento	-18°C



Figura 6: Amostras de castanha-do-Brasil do congelamento rápido

Fonte: Própria



Figura 7: Amostras de castanha-do-Brasil do congelamento lento

Fonte: Própria

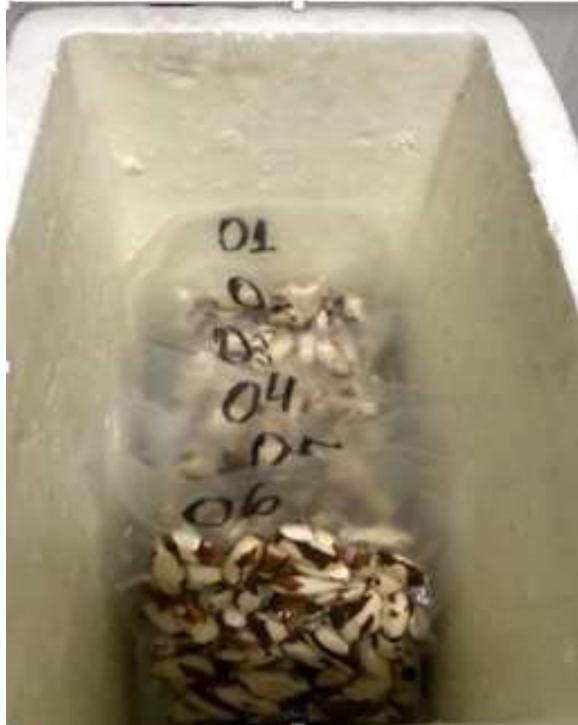


Figura 8: Acondicionamento das amostras para o transporte em caixa de isopor

4.3. Análises de composição centesimal e análises físico-químicas

Para a realização das análises de umidade, cinzas, lipídios ou fração extrato etéreo, proteínas (método de Kjeldahl) e testes de atividade de água as amostras de castanha-do-Brasil sem casca, ou seja, as amêndoas *in natura* e congeladas, foram trituradas em processador de alimentos Electrolux - Modelo: Chef FPE11, por um tempo aproximando de 30 segundos.

As análises de índice de acidez e índice de peróxidos, foram realizadas no óleo de castanha-do-Brasil oriundos das amostras do estudo. Para a obtenção do óleo de castanha-do-Brasil utilizado nas análises, foram realizadas prensagens a frio das amêndoas utilizando Prensa Hidráulica Tecnal – Modelo: TE-098 e pressão aplicada de 6 t, após as amêndoas serem submetidas a secagem em estufa de ar circulante por 48h a temperatura de 45°C. Esse procedimento foi realizado para a obtenção de óleo das amostras *in natura* e das amostras submetidas as diferentes técnicas de congelamento.



Figura 9: Prensa Hidráulica Tecnal – Modelo: TE-098

Fonte: Própria

Antes da operação de prensagem a frio das amêndoas castanhas-do-Brasil foi realizado um ensaio piloto visando definir em qual tempo de secagem em estufa de ar circulante seria obtido o melhor rendimento de extração do óleo de castanha-do-Brasil. O ensaio foi realizado avaliando os tempos de secagem em estufa de ar circulante a uma temperatura de 45°C, 24h, 48h, 72h. Após cada período de tempo foram realizadas extrações do óleo de amostra de castanha-do-Brasil, pelo método de prensagem a frio. Ao final do ensaio, foi definido que os parâmetros ideais de secagem eram temperatura de 45°C por 48h. A partir desses dados o processo será realizado em todas as amostras de castanhas congeladas.

4.4. Caracterização da Matéria-Prima Castanha-do-Brasil *in natura*

Foi determinada a composição centesimal das amêndoas de castanha-do-Brasil *in natura* (análises de umidade, cinzas, lipídios ou fração extrato etéreo,

proteínas método de Kjeldahl). Além disso foi realizada a caracterização das amostras estudadas por testes de atividade de água, índice de acidez e índice de peróxidos, a cada 30 dias por um período de 6 meses de acordo com as metodologias da AOAC (2016).

4.4.1. Análise de Umidade

A análise foi realizada utilizando o analisador de umidade halógeno IV3100 (Gehaka). A análise consistiu na pesagem de 2 g de amostra de amêndoa de castanha-do-Brasil trituradas em processador de alimentos Electrolux - Modelo: Chef FPE11 e em seguida de aquecimento por Infravermelho a uma temperatura de secagem de 160°C. A análise foi realizada em triplicata, posteriormente foram realizados cálculos da média e desvio padrão.

4.4.2. Análise de Cinzas

Foram pesados aproximadamente 5 g da amostra de amêndoa de castanha-do-Brasil triturada em processador de alimentos Electrolux - Modelo: Chef FPE11, em uma cápsula de porcelana ou cadinho, previamente aquecida em estufa a 105°C para retirada de umidade, resfriada em dessecador por 30 minutos e pesado em seguida. Posteriormente a amostra foi incinerada em bico de Bunsen, aos poucos, até formação de carvão. Após esta etapa, as amostras contidas nos cadinhos de porcelana foram transferidas para a mufla GP Científica – Modelo:2000 regulada a 550°C e aquecida por aproximadamente 4 horas, sendo resfriada em seguida, em dessecador por um período médio de 1 hora e para posterior pesagem. As etapas de aquecimento e resfriamento em dessecador foram realizadas até que fosse atingido peso constante. Análise foi realizada em triplicata e o cálculo realizado conforme Equação 1, (AOAC, 2016). Posteriormente foram realizados cálculos da média e desvio padrão.

Equação 1: Análise de Cinzas

$$\text{Cinzas \% p/p} = \frac{100 \times N}{P}$$

Onde:

$$N = \text{Peso de cinzas (g)} [(\text{Cadinho+cinza}) - (\text{Peso do cadinho})]$$

$$P = \text{Peso da Amostra (g)} [(\text{Cadinho+amostra}) - (\text{Peso do cadinho})]$$

4.4.3. Análise de Lipídios

Para a realização da análise foram pesados 3 g de castanha-do-Brasil trituradas em processador de alimentos Electrolux - Modelo: Chef FPE11. O processo de extração em aparelho de Soxhlet *Manual Extraction Unit* - Modelo: 2055 - SOXTEC – FOSS TECATOR utilizando Hexano como solvente, este foi adicionado nos copos de alumínio do aparelho de Soxhlet, previamente dessecados e tarados. Após a evaporação do solvente foram realizadas as pesagens dos copos de alumínio com o resíduo de lipídios. A análise foi realizada em triplicata. O cálculo será realizado conforme Equação 2, (AOAC, 2016). Posteriormente foram realizados cálculos da média e desvio padrão.

Equação 2: Análise de Lipídios

$$\text{Lipídios \% p/p} = \frac{100 \times N}{P}$$

Onde:

$$N = \text{Peso de lipídios (g)} [(\text{Peso dos copos} + \text{resíduo}) - (\text{Peso dos copos vazios})]$$

$$P = \text{Peso da Amostra (g)}$$

4.4.4. Análise de Proteínas ou Fração Nitrogenada

A análise foi feita utilizando 0,2 g da amostra de amêndoas de castanha-do-Brasil trituradas em processador de alimentos Electrolux - Modelo: Chef FPE11, em papel de seda e em seguida transferida para o tubo de Kjeldahl. Foram adicionados 5 mL de ácido sulfúrico e cerca de 2 g da mistura catalítica (mistura de Sulfato de Potássio, Sulfato de Cobre e Selênio) utilizada no processo. Em seguida os tubos contendo as amostras sofreram aquecimento em bloco digestor, na capela, até o aparecimento de uma solução azul-esverdeada e livre de material não digerido.

Finalizado o aquecimento, os tubos foram resfriados e após a diluição com água destilada os tubos contendo as amostras foram levados ao destilador denitrogênio TE 036 – TECNAL. O conteúdo dos tubos foi então neutralizado com solução de hidróxido de sódio a 50%. Após esta etapa, o destilado foi recolhido em Erlenmeyer com ácido bórico a 2% com indicador misto (solução de vermelho de metila e verde bromocresol) e por fim foi realizada a titulação usando ácido clorídrico

(0,02N) até a mudança de coloração. A análise foi realizada em triplicata. O cálculo foi realizado conforme equação 3, (AOAC, 2016). Posteriormente foram realizados cálculos da média e desvio padrão.

Equação 3: Análise de Proteínas ou Fração Nitrogenada

$$\%N = \frac{(Va - Vb) \times N \times f \times mEqN \times 100}{PA}$$

$$\% P = \% N \times \text{Fator de conversão de Nitrogênio para Proteína}$$

Va = Volume de HCl gasto na titulação com a amostra (mL)

Vb = Volume de HCl gasto na titulação com o branco (mL)

N = Normalidade de HCl

f = Fator de correção da solução de HCl

mEqN (Miliequivalente-grama do nitrogênio) = 0,014

PA = Peso da Amostra (g)

% P = % de Proteína

% N = % de Nitrogênio

Fator de conversão de Nitrogênio para Proteína (castanha) = 5,46

4.4.5. Análise de Atividade de Água (Aw)

A análise foi realizada utilizando o equipamento *Water Activity Meter Dew Point* 4TE (AquaLab® Decagon - USA), pela determinação do ponto de orvalho da amostra triturada de amêndoas de castanha-do-Brasil. A análise foi realizada em triplicata, e posteriormente realizado cálculos da média e desvio padrão.

4.4.6. Índice de Acidez

A análise foi realizada pesando cerca de 2 g do óleo, obtido após prensagem a frio das amêndoas de castanha-do-Brasil secas (secagem realizada em estufa de ar circulante por 48h em temperatura de secagem de 45°C), utilizando Prensa Hidráulica Tecnal – Modelo: TE-098 e pressão aplicada de 6 t. Após a pesagem do óleo foi realizada a homogeneização em frasco Erlenmeyer, de 25 mL de solução de éter-álcool (2:1 v/v) neutra, seguida da adição de três gotas de fenolftaleína, utilizado como indicador da reação. A titulação foi realizada com a solução de hidróxido de sódio 0,1 M previamente padronizada até o aparecimento da coloração rósea, cor que deveria persistir por 30 segundos. A análise foi realizada em triplicata e posteriormente

foram realizados cálculos da média e desvio padrão. O cálculo foi realizado conforme equação 4.

Equação 4: Índice de Acidez

$$\text{Índice de acidez} = V \times f \times 5,61 / P$$

onde:

V = Volume de solução de hidróxido de sódio 0,1 M gasto na titulação (mL)

f = Fator da solução de hidróxido de sódio 0,1M

P = Peso da Amostra (g) (AOAC, 2016)

4.4.7. Índice de Peróxido

Para realizar a análise foram pesados cerca de 5 g de óleo de castanha-do-Brasil, obtido após prensagem a frio das amêndoas de castanha-do-Brasil secas (secagem realizada em estufa de ar circulante por 48h em temperatura de secagem de 45°C), utilizando Prensa Hidráulica Tecnal – Modelo: TE-098 e pressão aplicada de 6 t. Após a pesagem em frasco erlenmeyer foram adicionados 30 mL de solução ácido acético-clorofórmio 3:2 v/v para dissolução da amostra por agitação. Após essa etapa foram adicionados 0,5 mL de solução saturada de iodeto de potássio, sendo em seguida colocado em repouso, ao abrigo da luz por 1 minuto. Passado 1 minuto acrescentou-se 30mL de água e então foi realizada titulação com solução de tiossulfato de sódio 0,01N previamente padronizada, sob agitação constante. A titulação seguiu até o quase desaparecimento da coloração amarela, quando então foram adicionados 0,5 mL de solução de amido e a titulação continuou até o desaparecimento completo da cor azul. Um branco foi preparado nas mesmas condições. A análise foi realizada em triplicata e posteriormente foram realizados cálculo da média e desvio padrão. O cálculo foi realizado de acordo com a equação 5.

Equação 5: Índice de Peróxido

$$\text{Índice de peróxido} = \frac{(A - B) \times N \times f \times 1000}{P}$$

Onde:

A = Volume de solução de tiossulfato de sódio gasto na titulação da amostra (mL)

B = Volume de solução de tiossulfato de sódio gasto na titulação do branco (mL)

N = normalidade da solução de tiossulfato de sódio

f = fator de correção da solução de tiossulfato de sódio

P = Peso da Amostra (g) (AOAC, 2016).

4.5. Caracterização da castanha-do-Brasil congelada

Nas amostras de amêndoas de castanha-do-Brasil congeladas, após a aplicação das duas técnicas de congelamento (Congelamento Lento e Congelamento Rápido), foram realizadas análises de umidade, lipídios ou fração extrato etéreo, de proteínas ou fração nitrogenada, testes de atividade de água, índice de acidez e índice de peróxidos, a cada 30 dias por um período de 6 meses de acordo com as metodologias da AOAC (2016).

4.5.1. Análise de Umidade

A análise foi realizada nas amostras congeladas, oriundas do congelamento lento e congelamento rápido, conforme descrito no item 4.4.1

4.5.2. Análise de Lipídios

A análise foi realizada nas amostras congeladas, oriundas do congelamento lento e congelamento rápido, conforme descrito no item 4.4.3.

4.5.3. Análise de Proteínas ou Fração Nitrogenada

A análise foi realizada apenas nas amostras congeladas finais após 6 meses de armazenamento, oriundas do congelamento lento e congelamento rápido, conforme descrito no item 4.4.4.

4.5.4. Análise de Atividade de Água (Aw)

A análise foi realizada nas amostras congeladas, oriundas do congelamento lento e congelamento rápido, conforme descrito no item 4.4.5.

4.5.5. Índice de Acidez

A análise foi realizada nas amostras congeladas, oriundas do congelamento lento e congelamento rápido, conforme descrito no item 4.4.6.

4.5.6. Índice de Peróxido

A análise foi realizada nas amostras congeladas, oriundas do congelamento lento e congelamento rápido, conforme descrito no item 4.4.7.

4.6. Análise estatística

O teste t de *Student* foi utilizado para avaliar os resultados nos ensaios laboratoriais das amostras analisadas, observando se o valor médio encontrado segue uma distribuição normal. A análise de variância (ANOVA) foi utilizada para verificar se há diferença significativa entre as médias obtidas nos diferentes tempos de armazenagem do produto. As análises estatísticas foram realizadas no software Bioestat, versão 5.3.

5. Resultados e Discussão

5.1. Caracterização das amostras

Após os processos de congelamento e posterior conservação em -18°C as amostras mantiveram-se estáveis ao longo dos 6 meses de armazenamento e isso foi confirmado pelos resultados das análises realizadas ao longo desse período. A cor das amêndoas não variou muito com o passar do tempo, porém algumas estavam relativamente mais amareladas que outras. As partes das amêndoas que estavam em contato direto com a embalagem estavam um pouco mais amareladas que as não entraram em contato.

Essa diferença na coloração pode estar relacionada com o grau de permeabilidade da embalagem utilizada, a entrada de pequenas moléculas como gases ou vapor de água, pois existe uma variação de permeabilidade em diferentes materiais de embalagem. Estas embalagens sofrem influência dos tipos de tratamento a que foram submetidos tanto térmico como mecânico. Além disso é possível que as características do próprio alimento como o pH ou o teor de gordura, no caso específico da castanha-do-Brasil alto teor de gordura, possa afetar de alguma maneira a barreira promovida pela embalagem, acarretando pequena alteração de cor nas castanhas-do-Brasil que estavam em contato direto com a embalagem (SIRACUSA, 2012). Além disso a análise estatística não indicou diferença significativa ($P > 0,05$) para os valores de umidade, atividade de (A_w), lipídeos, índice de acidez e índice de peróxido nas amostras de castanha-do-Brasil, em decorrência da aplicação dos dois tratamentos de congelamento.

5.1.1. Taxa de Congelamento das amostras de castanha-do-Brasil

Inicialmente, foram estabelecidos o método de congelamento e as temperaturas finais de congelamento para que fosse realizado um perfil de comportamento do processo de congelamento, baseado em pesquisas realizadas anteriormente. Esses perfis se iniciam no momento e temperatura na qual as amostras são colocadas no freezer e terminam quando atingem a temperatura congelamento predeterminada na indústria de alimentos, as refeições prontas congeladas são rotineiramente congeladas a temperaturas próximas de -15°C a -20°C ou mais (DEGNER et al., 2013).

Os perfis de temperatura-tempo foram registrados desde quando as amostras foram submetidas ao congelamento, com temperatura inicial das amostras de 26°C para as amostras do congelamento rápido e 25,6°C para as amostras de congelamento lento, até a temperatura final de -25°C para o congelamento rápido e temperatura de -18°C para o congelamento lento.

O gráfico da figura 10, abaixo, demonstra o comportamento da temperatura pelo tempo de congelamento nos diferentes processos de congelamento das castanhas-do-Brasil.

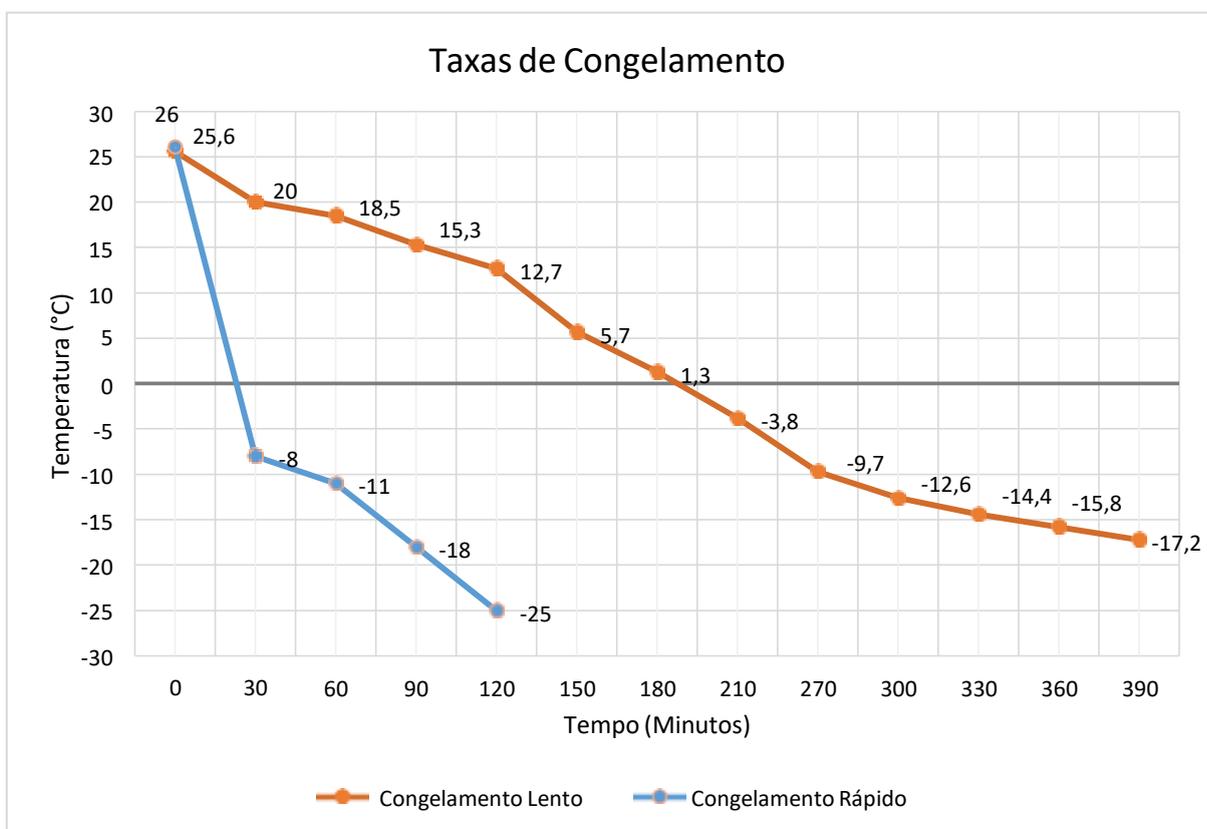


Figura 10 - Taxas de congelamentos das castanhas-do-Brasil a partir dos congelamentos rápido e lento

É possível observar que o método de resfriamento utilizado exerceu influência na taxa de congelamento, uma vez que todas as amostras possuíam o mesmo peso, fator este que poderia causar variações no tempo de congelamento, caso amostras com pesos diferentes. Para o congelamento rápido, a taxa de resfriamento média geral foi mais rápida exigindo cerca de 2 horas para atingir a temperatura de -25°C. Já

o congelamento lento, apresentou taxa média de resfriamento mais lenta e para que fosse atingida temperatura próxima a -18°C foi necessário um tempo de congelamento consideravelmente maior, de aproximadamente 6 horas.

Um ponto importante observado nas aferições finais de temperatura do congelamento lento diz respeito a diminuição da velocidade do abaixamento da temperatura do freezer, pois esta ocorreu de maneira mais lenta nas aferições finais, uma das explicações pode estar relacionada com o ponto no qual o congelamento está sendo atingido ou ainda com número de vezes em que foi realizada a abertura de porta no equipamento para as aferições de temperatura.

A abordagem acima forneceu um meio útil de testar a influência da taxa de congelamento na estabilidade e nas propriedades de castanhas-do-Brasil, fornecendo embasamento para futuras pesquisas sobre o congelamento deste alimento. Essas informações são úteis tanto para as indústrias que constantemente buscam novos mercados consumidores, uma vez que a castanha-do-Brasil congelada se apresenta como um novo e promissor produto, bem como para consumidores finais que buscam meios eficientes de conservação de alimentos como nozes visando um produto com características próximas as do alimento fresco.

5.1.2. Análise de Cinzas

As amêndoas de castanha-do-Brasil analisadas apresentaram um teor de cinzas de $3,15\% \pm \text{DP } 0,13$, valor acima do relado por Lima et al., (2021) de $3,07\%$ e próximo ao relatado por Silva (2017) de $3,34\%$ de cinzas. Os resultados obtidos estão coerentes com resultados descritos anteriormente para análise de cinzas em castanha-do-Brasil. A análise de cinzas não foi realizada nas amostras de castanha-do-Brasil congeladas.

5.1.3. Análise de Proteínas ou Fração Nitrogenada

Após as análises de proteínas nas amostras em estudo de castanha-do-Brasil, os resultados de para o teor de proteínas na amostra *in natura* foi de $10,95\% \pm \text{DP } 0,13$, para a última amostra do congelamento rápido após 6 meses de armazenamento foi de $12,40\% \pm \text{DP } 0,28$ e para a última amostra do congelamento lento após 6 meses de armazenamento foi de $11,35\% \pm \text{DP } 0,10$.

Com uma quantidade bastante grande de componentes interessantes do ponto de vista nutricional a castanha-do-Brasil apresenta um teor de proteínas de 15 a 20% na sua composição. Os resultados obtidos após as análises diferenciaram dos resultados encontrado por Cardoso et al., (2017) que descreveu valores acima de 15%, Lima et al. (2021) com 14,74% e Yang (2009) com 17% de proteína em castanhas-do-Brasil. Entretanto em estudo realizado por Vasconcelos (2011), os resultados obtidos para a análise de proteínas de castanha-do-Brasil foram equivalentes a 7,36%, demonstrando que podem ocorrer variações no quantitativo de proteína.

Ao realizar uma análise comparativa com outros produtos congelados o ideal é que os produtos possuam composição proteicas mais próxima às da castanha-do-Brasil e que também tenham sido submetidos a processamentos iguais, assim o produto mais indicado é a carne de origem animal. A carne bovina é composta em média 16 a 22% de teor de proteína (SOARES et al., 2017) podendo ocorrer variações conforme o tipo de corte da carne, por exemplo o músculo bovinos da região lombar e região da perna armazenados congelados em freezer a temperatura de -10°C até o momento das análises, apresentaram teores de proteína de 21,21% e 19,29% respectivamente (STERN, 2016).

Outro estudo buscou realizar uma comparação entre métodos de congelamento de carne suína para obtenção de dados sobre a qualidade e estabilidade oxidativa de músculos da região da perna de porco (TRUEL et al., 2020). Neste estudo dentre os métodos de congelamento realizado está o congelamento por ar (semelhante ao utilizado no congelamento da castanha-do-Brasil) e as amostras foram armazenadas em freezer convencional com temperatura de -30°C, não apresentou influência significativa sobre o teor de proteínas. Já em castanhas-do-Brasil a variação se deve a variação intrínsecas das amostras analisadas.

Já em relação a carne ovina em média são encontradas de 19,2 a 19,5% de proteínas (CRUZ et al., 2016), valores próximos a estes já foram relatados em castanha-do-Brasil em estudos anteriores, demonstrando que o consumo dessa noz respeitando os limites máximos de ingestão diário podem ser benéficos a saúde atuando de maneira eficaz na prevenção de diversas patologias.

5.1.4. Análise de Umidade

Após as análises de umidade nas amostras de castanha-do-Brasil *in natura* e após a aplicação de dois tipos de congelamento, os resultados estão dispostos no gráfico 3. Observando os dados do gráfico da figura 11 é possível verificar que em todas as amostras analisadas as médias de umidade mantiveram-se acima de 19%, sendo os valores mais altos a amostra de 60 dias de armazenamento para o congelamento rápido com 28,77% de umidade e para a amostra do congelamento lento a que apresentou maior umidade foi a amostra de 180 dias de armazenamento com 25,53%.

A maioria dos estudos realizados com nozes de árvores, estas são submetidas a processos de secagem como por exemplo utilizando estufas, fornos ou até mesmo secagem ao sol. Essas técnicas são aplicadas visando a diminuição da umidade e da atividade de água e assim promover um meio mais seguro para o alimento.

Em um estudo realizado com macadâmias recém colhidas, as amostras foram secas até 1,5% de umidade para que fosse possível desativar essas reações de deterioração (BUTHELEZI et al., 2021). Em castanhas-do-Brasil após secagem em secador rotativo os níveis de umidade estiveram na faixa de 2,48 a 3,36% (KLUCSKOVSKI et al., 2020). A secagem utilizando forno manteve a faixa de umidade de Noz entre 5,73 a 6,95 (BUTHELEZI et al., 2019).

Como neste estudo optou-se por embalar à vácuo as amêndoas castanha-do-Brasil frescas e posteriormente realizar o congelamento, para que fosse mantida as características frescas das amêndoas, não foi aplicado nenhuma técnica de secagem anteriormente. Diante disso é esperado que os níveis de umidade se mantenham próximos ao da amostra *in natura*. E apesar dos altos valores de umidade das castanhas-do-Brasil congeladas, que podem proporcionar um ambiente favorável ao crescimento microbiano, a conservação destas em baixas temperaturas (-18°C) e o uso de embalagens à vácuo garantem uma conservação segura e estável durante todo o tempo de armazenamento.

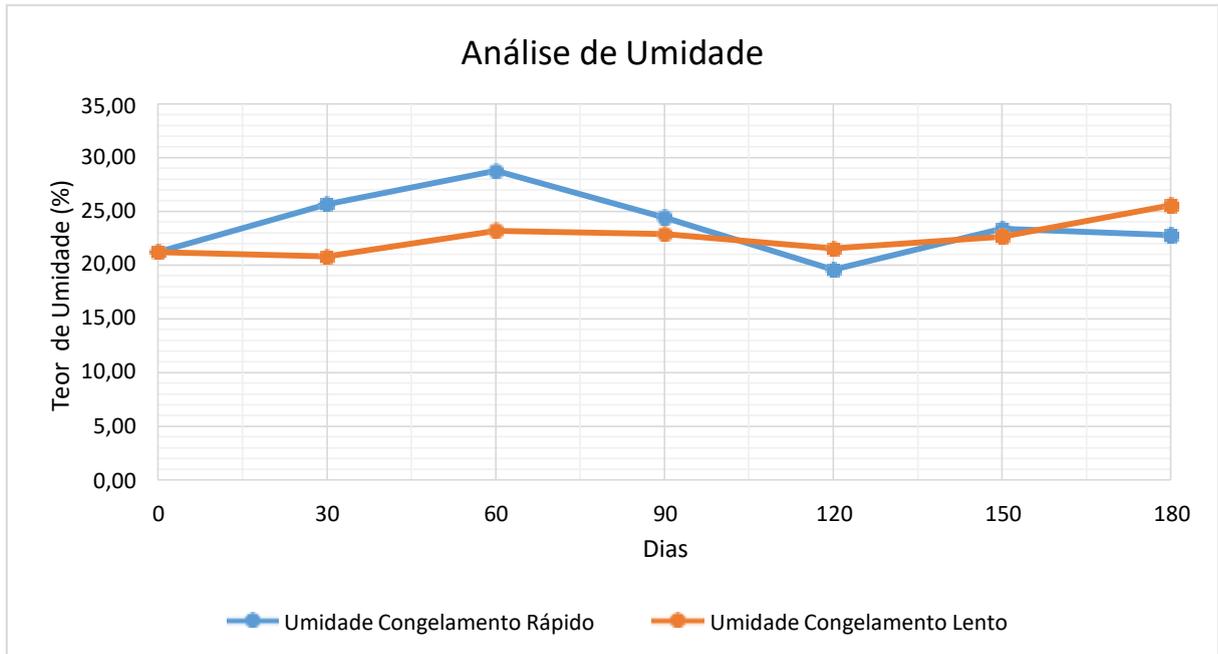


Figura 11- Teor de umidade (%) obtidos das amostras de castanha-do-Brasil *in natura* e após a aplicação de dois tipos de congelamento, durante 180 dias de armazenamento.

5.1.5. Análise de Atividade de Água (A_w)

Os valores obtidos das análises de Atividade de água (A_w) nas amostras de castanha-do-Brasil *in natura* e após a aplicação de dois tipos de congelamento foram organizados no gráfico da figura 12.

A partir dos dados dispostos no gráfico é possível observar que os níveis de A_w nas amostras *in natura* que não passaram por processo de secagem estão acima de 0,7, que é o nível máximo estabelecido pela União Europeia (CAC, 2010). Resultados semelhantes para os níveis de A_w em castanha-do-Brasil *in natura* sem aplicação de secagem também foram observados por Kluczkovski et al. (2020), com níveis de A_w no intervalo de 0,98 – 0,99. Neste estudo todas as amostras obtiveram resultados maiores que 0,98 para A_w . Os altos valores de A_w encontrados podem ser explicados pelo fato das amostras não terem passado por nenhum processo de secagem prévio. Dentre os resultados, o menor valor de A_w encontrado para ambas as amostras congeladas foi no tempo 30 dias de armazenamento com valores de 0,9839 para o congelamento rápido e 0,9801 para o congelamento lento.

Em geral para alcançar valores adequados de A_w em castanha-do-Brasil, abaixo de 0,7, são utilizadas operações de secagem para reduzir a A_w das nozes visando uma melhor conservação e assim possibilitando o melhor controle do desenvolvimento dos fungos produtores de aflatoxinas. As espécies do gênero *Aspergillus* estão altamente envolvidas na produção de micotoxinas, que promove a deterioração de alimentos e causa graves efeitos em humanos. Estes fungos se desenvolvem bem na região quente dos trópicos e raramente crescem abaixo de 10°C e a maioria cresce fortemente a 37°C ou acima (KLUCZKOVSKI, 2020). Segundo Ribeiro et al. (2021), o crescimento de *Aspergillus* sp. não é favorecido em baixas temperaturas, pois estes para o melhor crescimento necessitam de ambientes com temperaturas acima de 20 ° C. Outro ponto importante observado foi que a utilização de vácuo contribuiu efetivamente para a conservação da noz-pecã estudada.

Apesar dos resultados de A_w se mostrarem um meio ideal para o crescimento microbiano, principalmente fúngico, estes microrganismos necessitam também de condições ideais de temperatura (entre 25°C e 37°C), como neste estudo foram utilizadas baixas temperaturas nos tratamentos de congelamento e a posterior armazenamento em temperatura de -18°C, as baixas temperaturas apresentaram efeito positivo na conservação de castanhas-do-Brasil, pois inibem fortemente o desenvolvimento de microrganismos envolvidos no processo de degradação.

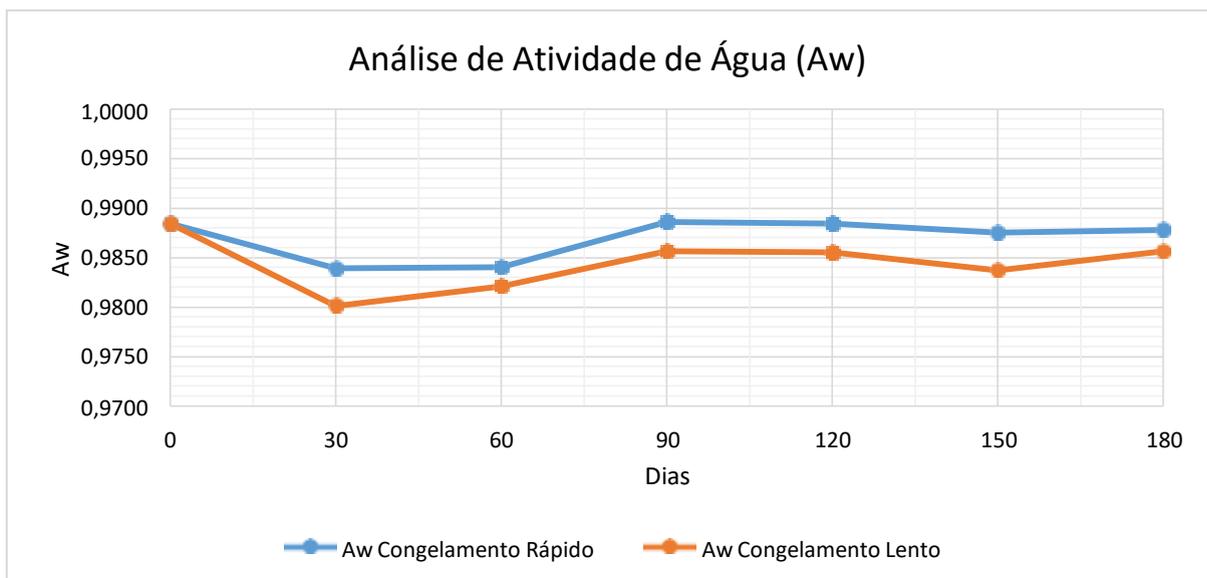


Figura 12- Valores de atividade de água (A_w) obtidos das amostras de castanha-do-Brasil *in natura* e após a aplicação de dois tipos de congelamento, durante 180 dias de armazenamento.

5.1.6. Análise de Lipídios

Os valores obtidos das análises de lipídios das amostras de castanha-do-Brasil *in natura* e após a aplicação de dois tipos de congelamento estão demonstrados no gráfico da figura 13.

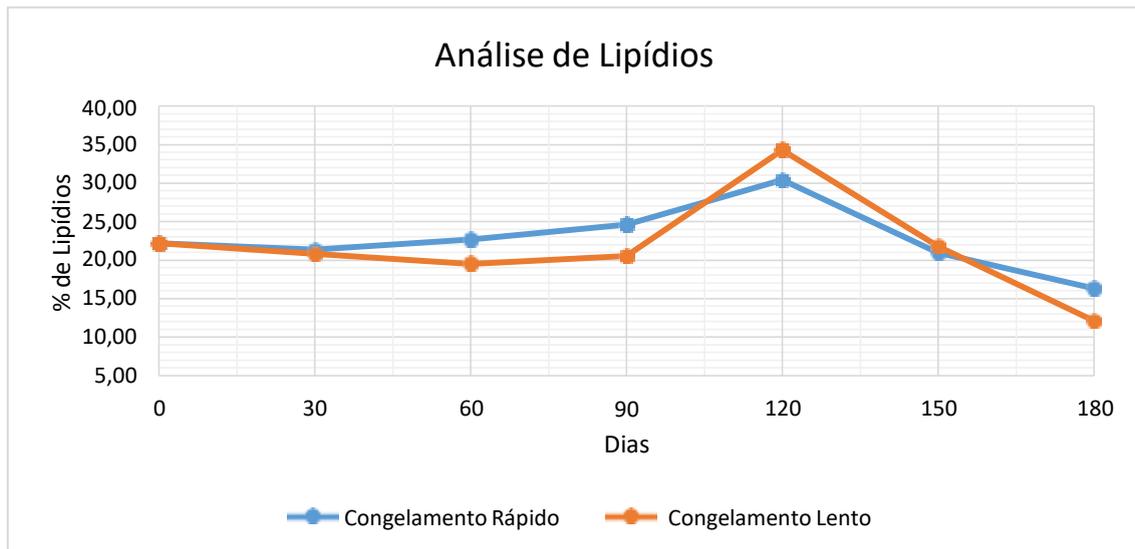


Figura 13- Valores de lipídios (%) obtidos das amostras de castanha-do-Brasil *in natura* e após a aplicação de dois tipos de congelamento, durante 180 dias de armazenamento.

Uma das principais características das nozes é o seu alto teor de lipídios trazendo benefícios aos seus consumidores. A noz-pecã (*Carya illinoensis*) por exemplo, é considerada altamente saudável nutritivas dentre seus nutrientes esta noz apresenta alto teor de lipídios (50 a 75%) semelhante a castanha-do-Brasil, além disso, os espécimes de noz-pecã são uma fonte de ácidos graxos insaturados monoinsaturados e polinsaturados (RIBEIRO et al., 2020).

A castanha-do-Brasil é conhecida pelo seu alto teor de lipídios, apresentando proporções lipídicas em torno de 60 a 70% (YANG, 2009). O estudo realizado por Lima et al. (2021) determinou 59,36 % de lipídios para castanha-do-Brasil. Esses valores também estão próximos para o conteúdo de lipídios relatados em castanha-do-Brasil, como de 66,4% (KLUCZKOVSKI, 2019).

Neste estudo os valores mais altos de lipídios encontrado para ambas as amostras congeladas, referem-se ao tempo 120 dias de armazenamento, com valores de 30,37 % de lipídios para o congelamento rápido e 34,29% para o congelamento

lento. Todos os valores obtidos estão abaixo dos níveis relatados anteriormente na literatura para castanha-do-Brasil. Uma das explicações para o teor de lipídios neste estudo apresentar valores muito abaixo dos resultados encontrados anteriormente, pode estar relacionado com uma falha método utilizado e devido ao panorama da pandemia e o fechamento dos laboratórios, não foi possível testar outro método afim de realizar uma comparação dos resultados.

O processo de secagem das amêndoas em estufa de ar circulante a 45°C por 48h é uma etapa fundamental para a obtenção do óleo de castanha-do-Brasil. Caso as amêndoas não sejam submetidas ao processo de secagem, não é possível obter um óleo ideal nem quantidade suficiente utilizando o processo de prensagem a frio, pois a alta umidade encontrada na castanha-do-Brasil fresca ou congelada, não fornece uma aderência ideal na prensa e assim temos como resultado um extravasamento da própria castanha, que pode ser observado nas figuras 14 e 15, sem que seja obtido o óleo ideal, o qual deve possuir cor amarelo claro, odor e sabor característicos.



Figura 14: Extravasamento da castanha-do-Brasil no momento da prensagem à frio

Fonte: Própria



Figura 15: Extravasamento da castanha-do-Brasil no momento da prensagem à frio e aparecimento de extrato leitoso

Fonte: Própria

Com a prensagem sem a secagem prévia tem-se como resultado, uma pequena quantidade de uma mistura turva leitosa de água e óleo, nas figuras 16 e 17,

semelhante ao extrato chamado leite de castanha-do-Brasil, no qual é possível observar as duas fases (água e óleo) do extrato.



Figura 16: Aparecimento de extrato leitoso no momento da prensagem à frio

Fonte: Própria



Figura 17: Extrato leitoso de castanha-do-Brasil obtido após prensagem à frio

Fonte: Própria

Outro ponto que merece atenção é o fato de que é necessário abrir a embalagem a vácuo, retirar as amêndoas e colocá-las em bandejas para otimizar a secagem, caso contrário pode ocorrer o fenômeno chamado gotejamento ou “drip”. Gotejamento é o processo que pode ocorrer no momento do descongelamento, no qual ocorre a lixiviação da água durante o processo e pode afetar a qualidade do alimento. Este fenômeno acontece, porque no momento do congelamento a estrutura celular é rompida e no momento do descongelamento a água não consegue retornar ao seu compartimento original devido ao dano na estrutura, ocasionando o “drip”. Este fenômeno não é bem visto pelos consumidores nem pelas indústrias, pois frequentemente representa a perda de nutrientes e assim perda econômica no processo industrial. O produto no qual é observado a ocorrência do gotejamento como na figura 18 é preterido pelos consumidores finais. Além disso qualidade sensorial do alimento é afetada.



Figura 18: Processo de descongelamento e aparecimento do fenômeno de gotejamento ou “drip”

Fonte: própria

Estudos anteriores indicam que métodos de descongelamento que diminuem a perda por gotejamento favorecem a obtenção produtos mais macios. Maiores perdas foram observadas quando se realiza o método convencional de descongelamento, isso ocorre justamente pela perda da capacidade de reabsorver a água dos cristais de gelo formado no momento do congelamento (BEDANE et al.,2018). A retenção dos atributos alimentícios do alimento fresco após o processo de descongelamento representa que este foi realizado de maneira adequada (RAHBARI et al., 2018). Então para minimizar a ocorrência do processo de “drip”, optou-se por descongelar as amêndoas em estufa de ar circulante a 45°C, por 48h, fora da embalagem à vácuo, as amêndoas foram dispostas em bandejas para uma secagem mais uniforme, assim como na figura 19, desta maneira foi possível melhorar a obtenção do óleo da castanha-do-Brasil por prensagem a frio. Neste trabalho não foram realizadas avaliações do processo de descongelamento.



Figura 19: Disposição das castanhas-do-Brasil em bandejas para o processo de secagem

Fonte: Própria

5.1.7. Índice de Acidez

Um dos principais parâmetros de avaliação da qualidade de alimentos que possuem altos níveis lipídicos é o índice de acidez. Este índice fornece indícios sobre o processo de decomposição e demonstra a presença de ácidos graxos livres no óleo bem como sua quantidade. Da mesma forma que o índice de peróxido, o índice de acidez é um dos parâmetros indicados pelas normas brasileiras que está relacionado aos processos oxidativos na castanha-do-Brasil, justamente por apresentar alto teor de ácidos graxos insaturados. Os valores obtidos das análises de índice de acidez nas amostras de castanha-do-Brasil congeladas foram organizados no gráfico da figura 20.

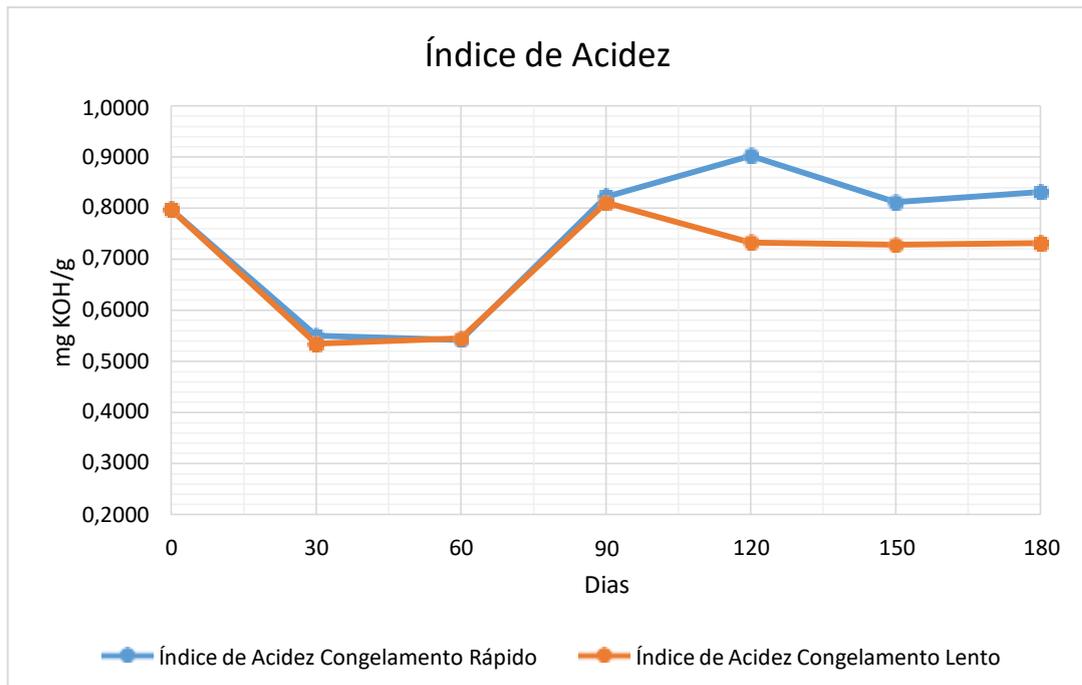


Figura 20- Valores dos índices de acidez (em mg KOH/g) obtidos das amostras de castanha-do-Brasil *in natura* e após a aplicação de dois tipos de congelamento, durante 180 dias de armazenamento.

Após seis meses de armazenamento as amostras congeladas de castanha-do-Brasil que apresentaram os maiores valores para o índice de acidez foram as amostras do tempo 120 dias para o congelamento rápido com valor de 0,9026 KOH/g e para o congelamento lento a amostra do tempo 90 dias com o valor de 0,8102 KOH/g apresentou o maior valor para o índice de acidez. Seguindo a especificação da RDC Nº 481 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (BRASIL, 2021b), resolução que dispõe sobre os requisitos de identidade, composição de ácidos graxos, qualidade e rotulagem dos óleos e gorduras vegetais e conforme o estabelecido no anexo III da Instrução Normativa Nº87/2021 (BRASIL, 2021a), o limite máximo estabelecido para o índice de acidez é 4,0 mg KOH/g, para óleos prensados a frio e não refinados. Este limite também é padronizado pelo documento do *Codex Alimentarius* (CXS 19-1981), em 2019 foi estabelecido limite máximo para o Índice de Acidez, para gorduras e óleos prensados a frio e não refinados como 4,0 mg KOH/g de gordura ou óleo. Considerando os documentos citados acima, todas as amostras atenderam as especificações para o índice de acidez e todos os resultados encontrados estão abaixo de 1,0 mg KOH/g de óleo.

Em um estudo realizado com noz-pecã foi observado que os menores índices de acidez após seis meses de armazenamentos, foram observados nas amostras armazenadas a temperatura de 1,5°C em 20 kPa pO₂, indicando que a melhor conservação é observada em temperaturas mais baixas (RIBEIRO, 2020). A aplicação de congelamento e a posterior conservação das castanhas em temperatura de -18°C, mostrou-se um tratamento eficaz na manutenção da qualidade da castanha-do-Brasil, uma vez os valores do índice de acidez foram mantidos abaixo do limite máximo estipulado por agências internacionais. Neste estudo, até o tempo 90 dias de armazenamento as amostras dos dois tipos de congelamento se comportaram da mesma forma, nos períodos posteriores demonstraram pequenas diferenças, mas visualmente apresentavam características semelhantes. Uma das explicações das diferenças apresentadas possa estar relacionada com as características intrínsecas dos exemplares de castanha-do-Brasil.

5.1.8. Índice de Peróxido

Os valores do índice de peróxido da mesma forma que o índice de acidez determina a qualidade de óleos e gorduras e é tido como referência do bom estado de óleos e gorduras. O índice de peróxido é um parâmetro que está diretamente relacionado ao grau de oxidação de um óleo, e fornece dados sobre os níveis de rancidez do óleo de castanha-do-Brasil analisado.

É importante salientar que nozes como a castanha-do-Brasil, amêndoa, noz-pecã, macadâmia, pistache entre outras possuem altos valores de lipídios. Os ácidos graxos insaturados encontrados nessas nozes são altamente suscetíveis à oxidação quando expostas à luz, oxigênio, calor, umidade e processamento pós-colheita (BAI et al., 2019). E o processo de oxidação do óleo de nozes acelera consideravelmente o aparecimento de ranço e reduzindo assim a vida útil das nozes (TAHMASBIAN et al., 2021). Os resultados para análise de índice de peróxidos obtidos nas amostras nas amostras de castanha-do-Brasil congeladas ao longo de 6 meses de armazenamento foram organizados no gráfico no gráfico da figura 21.

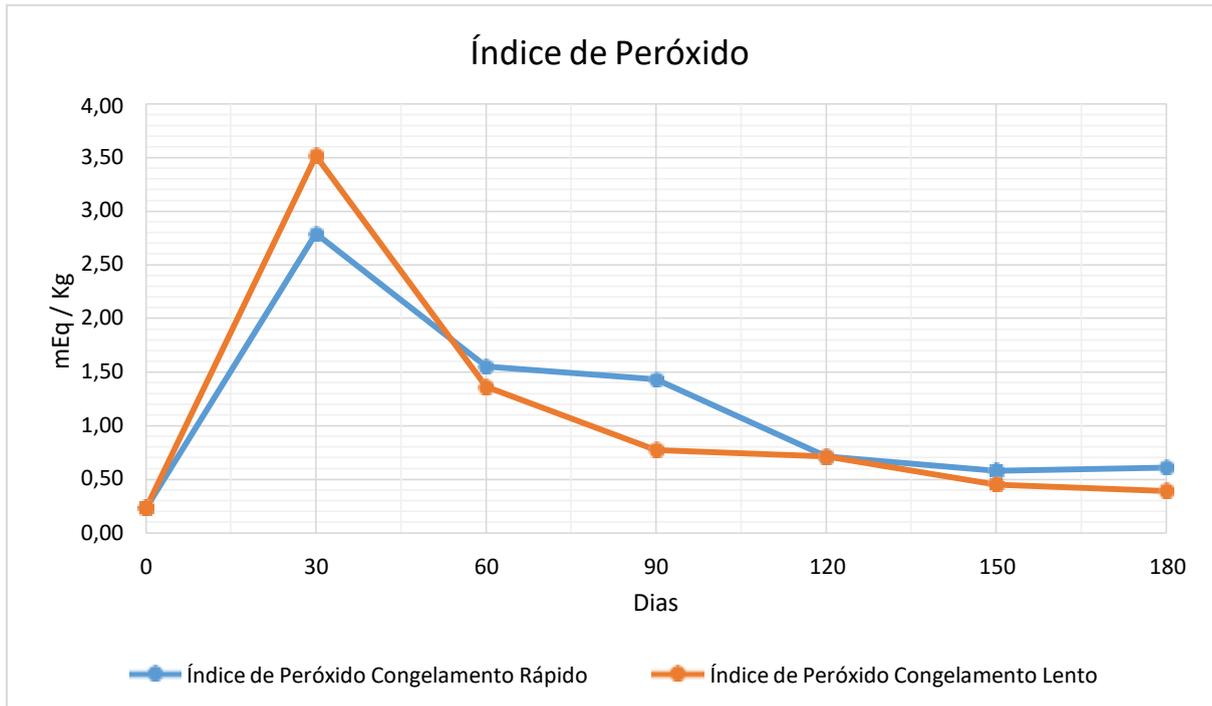


Figura 21- Valores dos índices de peróxidos (em mEq /Kg) obtidos das amostras de castanha-do-Brasil *in natura* e após a aplicação de dois tipos de congelamento, durante 180 dias de armazenamento.

Da mesma forma que ocorre o ranço em nozes de macadâmia, ocorre também nas castanhas-do-Brasil e a presença do ranço é dos principais indicadores de baixa qualidade das amêndoas. O ranço ocorre a partir de dias vias principais, a oxidação e hidrólise (BUTHELEZI et al.,2021). O processo de oxidação acontece quando o óleo insaturado entra em contato com o ar e reage com o oxigênio (enzimaticamente ou não) para alternadamente produzir hidroperóxidos que então reagem com proteínas e aminoácidos e contribuem para a formação de odores e sabores desagradáveis no alimento (BAI et al., 2017). Já a hidrólise é resultado da hidrólise enzimática de triacilgliceróis, atividade hidrotérmica, calor e liberação de ácidos graxos livres, que atuam como catalisadores para reações de auto oxidação, levando ao desenvolvimento de ranço hidrolítico (BUTHELEZI et al.,2021). O ranço das nozes é comumente estimado medindo o valor do índice de peróxido (TAHMASBIAN et al., 2021) e este índice é utilizado para verificar qualidade das nozes.

O tempo de armazenamento 30 dias, em ambas as amostras congeladas, apresentaram os índices de peróxidos mais altos de todo o período de

armazenamento, (2,79 mEq/Kg para o congelamento rápido e 3,52 mEq/Kg para o congelamento lento). Estes valores observados estão quase 75% mais baixo que o limite máximo estabelecido para o índice de peróxido, considerando os parâmetros definidos pela legislação brasileira, RDC N° 481, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (BRASIL, 2021b), segundo o estabelecido no anexo IV da Instrução Normativa N°87 (BRASIL, 2021a) e as recomendações definidas pelo documento do *Codex Alimentarius* (CXS 19-1981) em 2019, no qual o valor máximo para o índice de peróxidos para óleos prensados a frio e não refinados é de 15 mEq/Kg de gorduras e óleos. Foi observado que após o dia 30 de armazenamento, os índices de peróxido de todas as amostras foram decaindo. Então mesmo após o processo de congelamento e permanência em estufa a 45°C por 48h para obtenção dos óleos, esses processamentos não influenciaram de maneira negativa dos níveis de oxidação das amostras de castanha-do-Brasil.

Vários estudos são realizados visando selecionar uma técnica que melhore a preservação de alimentos. Um tipo de tecnologia que foi usada na conservação de noz pecã foi o armazenamento em atmosfera controlada (RIBEIRO et al.,2020), outro método de armazenamento largamente utilizado são as embalagens a vácuo, que também controla de maneira eficiente o crescimento microbiano e promove o aumento da vida útil dos alimentos (QUAGLIA et al., 2020).

Como neste estudo as amêndoas de castanha-do-Brasil foram conservadas em embalagem a vácuo, ao final do período de armazenamento, esse tipo de embalagem evitou a ocorrência de processos oxidativos.

6. CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo evidenciaram que o congelamento de castanha-do-Brasil e sua conservação em baixas temperaturas é promissor, alcançando boa estabilidade ao longo do estudo e com resultados dentro dos limites dos parâmetros físico-químicos preconizados pelas legislações vigentes. Os principais parâmetros que avaliam a qualidade de nozes de árvores, o índice de acidez índice de peróxido, apresentaram resultados abaixo do limite máximo definido pelas legislações. Com base nisso é possível confirmar que a aplicação do congelamento e sua posterior conservação em baixas temperaturas favoreceu a estabilidade do produto ao longo de 6 meses de armazenamento. E o uso de embalagens à vácuo contribuiu fortemente para a otimização do *shelf life* sendo coerente com estudos anteriores que avaliaram o uso desse tipo de embalagem.

Segundo as análises estatísticas não houve diferenças significativas ($P > 0,05$) entre os resultados após a aplicação do congelamento rápido e lento nas amostras de castanha-do-Brasil. Assim tanto a indústria alimentícia quanto um consumidor dito “doméstico” podem realizar o congelamento de castanhas-do-Brasil e alcançar resultados semelhantes de conservação. Para a indústria de alimentos este trabalho fornece informações importantes e abre caminho para o desenvolvimento de um produto inovador, a castanha-do-Brasil congelada. Já para os consumidores finais que buscam formas de preservar o produto adquirido ainda fresco, mantendo a qualidade e algumas características próximas a do alimento *in natura*, os resultados evidenciam que é possível realizar essa conservação também no ambiente doméstico.

Mesmo com resultados promissores ainda se faz necessário outros estudos sobre textura, análises microbiológicas, comportamento dos nutrientes após o congelamento, para que de fato esse tratamento seja aplicado não só a castanha-do-Brasil como também em outras nozes de árvores.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOAC. International Association of Official Analytical Chemists International. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 20 th ed., 2016.

BAI, S. H.; DARBY, I.; NEVENIMO, T.; HANNET, G.; HANNET, S.; POIENOU, M.; GRANT, E.; BROOKS, P.; WALTON, D.; RANDAL, B.; WALLACE, H. M. Effects of roasting on kernel peroxide value, free fatty acid, fatty acid composition and crude protein content. **PlosOne**. V. 12, 2017.

BAI, S.H.; NEVENIMO, T.; HANNET, G.; HANNET, D.; JONES, K.; TRUEMAN, S.J.; GRANT, E.L.; WALTON, D.A.; RANDALL, B. AND WALLACE, H.M. Freezing, roasting and salt dipping impacts on peroxide value, free fatty acid and fatty acid concentrations of nut kernels. **Acta Horticulturae**, v.1256, p.71-76,2019.

BALBAY, A. Effects of environmental temperature and relative humidity on the rehydration of dried pistachios. **Drying Technology**, v. 37, n. 10, p. 1239–1250, 2019.

BEDANE, T. F.; ALTIN, O.; EROL, O.; MARRA, F.; ERDOGDU, F. Thawing of frozen food products in a staggered through-field electrode radio frequency system: A case study for frozen chicken breast meat with effects on drip loss and texture. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 50, p. 139-147, 2018.

BRAR, P. K.; PROANO, L. G.; FRIEDRICH, L. M.; HARRIS, L. J.; DANYLUK, M. D. Survival of *Salmonella*, *Escherichia coli* O157:H7, and *monocytogenes* on raw peanut and pecan kernels stored at 224, 4, and 22uC. **Journal of Food Protection**, v. 78, n. 2, p. 323–332, 2015.

BRASIL. Instrução Normativa nº 87, de 15 de março de 2021. “Lista de espécies vegetais autorizadas, as designações, a composição de ácidos graxos e valores máximos de acidez e de índice de peróxidos para óleos e gorduras vegetais”. Órgão emissor – ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-in-n-87-de-15-de-marco-de-2021-309008143>>. Acesso em: 12 de maio de 2021a.

BRASIL. Resolução RDC nº 481, de 15 de março de 2021. “Requisitos sanitários para óleos e gorduras vegetais”. Órgão emissor – ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em: < <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-rdc-n-481-de-15-de-marco-de-2021-309012789>>. Acesso em: 12 de maio de 2021b.

BUTHELEZI, N. M.D.; TEFAY, S. Z.; NCAMA, K.; MAGWAZA, L. S. Destructive and non-destructive techniques used for quality evaluation of nuts: A review. **Scientia Horticulturae**, v. 247, p. 138–146, 2019.

BUTHELEZI, N. M. D.; TEFAY, S. Z.; MAGWAZA, L. S. Influence of roasting on antioxidants, fatty acids, sensory properties and oxidative stability of macadamia nuts. **Scientia Horticulturae**, v. 278, 2021.

BRITO, R. C. M.; JUNIOR, J. B. P.; DANTAS, K. G. F. Quantification of inorganic constituents in Brazil nuts and their products by inductively coupled plasma optical emission spectrometry. **LWT**, v. 116, p. 108-383, 2019.

CAC -Codex Alimentarius Commission, Proposed draft maximum level for total aflatoxins in Brazil nuts. ALINORM 10/33/41 Appendix V, 47. Joint FAO/WHO Food Standards Program, FAO, Rome, 2010.

CAI, L.; CAO, A.; LUO, Z.; MAO, L.; YING, T. Ultrastructure characteristics and quality changes of low-moisture *Chilgoza pine* nut (*Pinus gerardiana*) during the near-freezing-temperature storage. **CYTA- Journal of Food**, v. 15, n. 3, p. 466–473, 2017.

CARDOSO, B. R.; DUARTE, G. B. S.; REIS, B. Z.; COZZOLINO, S. M. F. Brazil nuts: Nutritional composition, health benefits and safety aspects. **Food Research International**, v. 100, n. August, p. 9–18, 2017.

CARDOSO, B.R.; ROBERTS, B.R.; BUSH, A.I.; HARE, D.J. Selenium, selenoproteins and neurodegenerative diseases. **Metallomics**, v. 7, p. 1213-1228, 2015.

COMINETTI, C.; BORTOLI, M.C.; GARRIDO, DE A.B.; COZZOLINO, S.M.F. Brazilian nut consumption improves selenium status and glutathione peroxidase activity and reduces atherogenic risk in obese women. **Nutrition Research**, v. 32, p. 403-407, 2012.

COSTA, J. S. G.; KLUCZKOVSKI, A. M. Tecnologias de conservação de nozes de árvores: uma revisão. 3ª ed. Editora Científica, 2021.

CRUZ, B. C. C.; SANTOS, C. L.; AZEVEDO, J. A. G.; SILVA, D. A. Avaliação e composição centesimal e as características físico-químicas da carne de ovinos. **PUBVET**, v. 10, p. 147-162, 2016.

DA COSTA, D. A.; DE SOUZA ÁLVARES, V.; KUSDRA, J. F.; NOGUEIRA, R. M.; MACIEL, V. T.; MIQUELONI, D. P. Quality of in-shell Brazil nuts after drying using a pilot natural convection oven in the state of Acre, Brazil. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, 2017.

DALVI-ISFAHAN, M.; JHA, P. K.; TAVAKOLI, J.; DARAEI-GARMAKHANY, A.; XANTHAKIS, E.; LE-BAIL, A. Review on identification, underlying mechanisms and evaluation of freezing damage. **Journal of Food Engineering**, v. 255, p. 50-60, 2019.

DE FARIAS, C.R.; CARDOSO, B.R.; DE OLIVEIRA, G.M.; DE MELLO GUZZELLI, I.C.; CATARINO, R.M.; CHAMMAS, M.C.; KNOBEL, M. A randomized-controlled, double-blind study of the impact of selenium supplementation on thyroid autoimmunity and inflammation with focus on the GPx1 genotypes. **Journal of Endocrinological Investigation**, v. 38 (10), p. 1065-1074, 2015.

DEGNER, B. M.; OLSON, K. M.; ROSE, D.; SCHLEGEL, V.; HUTKINS, R.; MCCLEMENTES, D. J. Influence of freezing rate variation on the microstructure and physicochemical properties of food emulsions. **Journal of Food Engineering**, v. 119, p. 244-253, 2013.

DELGADO, T.; PEREIRA, J. A.; CASAL, S.; RAMALHOSA, E. Effect of Drying on Color, Proximate Composition and Drying Kinetics of Sliced Chestnuts. **Journal of Food Process Engineering**, v. 39, n. 5, p. 512–520, 2016.

DE OLIVEIRA, J. M., DE ALENCAR, E. R., BLUM, L. E. B. Ozonation of Brazil nuts: Decomposition kinetics, control of *Aspergillus flavus* and the effect on color and on raw oil quality. **Lwt**, v. 123, n. Janeiro, 2020.

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

GAMA, T.; WALLACE, H. M.; TRUEMAN, S. J.; BAI-HOSSEINI, S. Quality and shelf life of tree nuts: A review. **Scientia Horticulturae**, v. 242, p. 116-126, 2018.

GÖRANSSON, M.; NILSSON, F.; JEVINGER, A. Temperature performance and food shelf-life accuracy in cold food supply chains – insights from multiple field studies. **Food Control**, v. 86, p. 332-341, 2018.

HAN, Y.; ZHENG, Y.; LI, S.; MO, R.; LONG, X.; LIU, Y. Effects of drying process with different temperature on the nutritional qualities of walnut (*Juglans regia* L.). **Food Science and Technology Research**, v. 25, n. 2, p. 167–177, 2019.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção da extração vegetal e da silvicultura, v.34, 2019.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção da extração vegetal e da silvicultura. < <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=774> > Acesso em: 28 junho. 2021. <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=774>.

KIM S.S.; KANG, D.H. Synergistic effect of carvacrol and ohmic heating for inactivation of *E. coli* O157:H7, *S. Typhimurium*, *L. monocytogenes*, and MS-2 bacteriophage in salsa. **Food Control**, v. 73, p. 300-305, 2017.

KIM, H-W.; KIM, J-H.; SEO, J-K.; SETYABRATA, D.; KIM, Y. H. B. Effects of aging/freezing sequence and freezing rate on meat quality and oxidative stability of pork loins. **Meat Science**, v. 139, p. 162-170, 2018.

KIM, J.; SANTOS, C. A.; KIM, B-S; Kim, J; KOO, J; Estimation of real-time remaining shelf life using mean kinetic temperature. **Lwt**, v. 134, 2020.

KIPP, A.P.;STROHM, D.; BRIGELIUS-FLOHÉ, R.; SCHOMBURG, L.; BECHTHOLD, A.; LESCHIK-BONNET, E.; HESEKER, H. Revised reference values for selenium

intake. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 32, p. 195-199, 2015.

KLUCZKOVSKI, A.M.; MARTINS, M.; MUNDIM, S.M.; SIMÕES, R.H.; NASCIMENTO, K.S.; MARINHO; H.A. KLUCZKOVSKI JUNIOR, A. Properties of Brazil nuts: A review. **African Journal of Biotechnology**, v.14 (8), p. 642-648, 2015.

KLUCZKOVSKI, A. M. Fungal and mycotoxin problems in the nut industry. **Current Opinion in Food Science**, v. 29, p. 56-63, 2019.

KLUCZKOVSKI, A. M.; SILVA, A. C. P.; BARRONCAS, J.; LIMA, J. PEREIRA, H.; MARIOSA, P.; VINHOTE, M. L. Drying in Brazil Nut Processing as a Tool for Prevention of Contamination by Aflatoxins. **Journal of Agricultural Studies**, v. 8, 2020.

KOHRLE, J. Selenium and the thyroid. **Current Opinion in Endocrinology Diabetes and Obesity**, v. 22 (5), p. 392-401, 2015.

KRAG, M. N.; SANTANA, A. C.; SALOMÃO, R. D. P.; MARTINS, C. M.; GOMES, S. C. A governança do arranjo produtivo local da castanha-do-Brasil na região da Calha Norte, Pará. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 55, p. 589-608, 2017.

LEONARDI, J. G.; AZEVEDO, B. M. Métodos de Conservação De Alimentos. **Revista Saúde em Foco**, v.10, 2018.

LEITÃO, B. M. R. **Equipamentos de congelação industrial de produtos alimentares perecíveis: análise comparada de apoio à decisão**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa, p. 45-46. 2011.

LI, D.; ZHU, Z.; SUN, D-W. Effects of freezing on cell structure of fresh cellular food materials: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 75, p. 46-55, 2018.

LIMA, D. S.; EGEA, M. B.; CABASSA, I. C. C.; ALMEIDA, A. B.; SOUSA, T. L.; LIMA, T. M.; LOSS, R. A.; VOLP, A. C. P.; VASCONCELOS, L. G.; DALL’OGLIO, E. L.; HERNANDES, T.; TAKEUCHI, K. P. Technological quality and sensory acceptability of nutritive bars produced with Brazil nut and baru almond coproducts. **LWT**, v. 137, 2021.

MASSI, F.P.; VIEIRA, M.L.C.; SARTORI, D.; PENHA, R.E.S.; MUNHOZ, C.F.; FERREIRA, J.M. Brazil nuts are subject to infection with B and G aflatoxin-producing fungus, *Aspergillus pseudonomius*. **International Journal of Food Microbiology**, v. 186, p. 14-21, 2014.

MEPLAN, C.; HESKETH, J. Selenium and cancer: A story that should not be forgotten- insights from genomics. **Cancer Treatment and Research**, v. 159, p. 145-166, 2014.

MORAES DE BRITO, R. C.; PEREIRA JUNIOR, J. B.; DANTAS, K. DAS G. F. Quantification of inorganic constituents in Brazil nuts and their products by inductively coupled plasma optical emission spectrometry. **Lwt**, v. 116, n. July, p. 108383, 2019.

MOZAFFARIAN, D. Dietary and policy priorities for cardiovascular disease, diabetes, and obesity: A comprehensive review. **Circulation**, v. 133, p. 187-225, 2016.

MULOT, V.; BENKHELIFA, H.; PATHIER, D.; NDOYE, F-T; FLICK, D. Measurement of food dehydration during freezing in mechanical and cryogenic freezing conditions. **International Journal of Refrigeration**, v. 103, p. 329-338, 2019.

NWABOR, O. F.; SINGH, S.; PAOSEN, S.; VONGKAMJAN, K.; VORAVUTHIKUNCHAI, P. Enhancement of food shelf life with polyvinyl alcohol-chitosan nanocomposite films from bioactive *Eucalyptus* leaf extracts. **Food Bioscience**, v. 36, p. 100609, 2020.

PALACZ, M.; PIECHNIK, E.; HALSKI, M.; STEBEL, M.; ADAMCZYK, W.; EIKEVIK, T. M.; SMOLKA, J. Experimental analysis of freezing process of stationary food samples inside a hydrofluidisation freezing chambre. **International Journal of Refrigeration**, v. 7, 2021.

PRESTES, F. S.; PEREIRA, A. A. M.; SILVA, A. C. M.; PENA, P. O.; NASCIMENTO, M. S. Effects of peanut drying and blanching on Salmonella spp. **Food Research International**, v. 119, p. 411–416, 2019.

QUAGLIA, M.; SANTINELLI, M.; SULYOK, M.; ONOFRI, A.; LORENZO, C.; BECCARI, G. *Cladosporium* species associated with dried date fruits collected in the Perugia (Umbria, Central Italy) Market. **International Journal of Food Microbiology**, v. 322, 2020.

RAHBARI, M.; HAMDAMI, N.; MIRZAEI, H.; JAFARI, S. M.; KASHANINEJAD, M.; KHOMEIRI, M. Effects of high voltage electric field thawing on the characteristics of chicken breast protein. **Journal of Food Engineering**, v. 216, p. 98-106, 2018.

RAYMAN, M.P. Selenium and human health. **Lancet**, v. 379, p. 1256-1268, 2012.

RIBEIRO, M.B.N.; JEROZOLIMSKI, A.; DE ROBERT, P.; SALLES, N.V.; KAYAPÓ, B.; PIMENTEL, T.P.; MAGNUSSON W.E. Anthropogenic landscape in southeastern Amazonia: Contemporary impacts of low-intensity harvesting and dispersal of Brazil nuts by the Kayapó Indigenous people. **PloS One**, v. 9 (7), 2014.

RIBEIRO, S. R.; RIBEIRO, Q. M.; KLEIN, B.; SANTOS, I. D.; FORGIARINI, S.; HAMANN, J. J.; CICHOSKI, A. J.; FRONZA, D.; BRACKMANN, A.; BOTH, V.; WAGNER, R. Effect of low oxygen on quality attributes of 'Barton' pecan nuts after long-term storage at different temperatures. **Scientia Horticulturae**, v. 263, 2020.

RIBEIRO, S. R.; GARCIA, M. V.; COPETTI, M. V., BRACKMANN, A.; BOTH, V.; WAGNER, R. Effect of controlled atmosphere, vacuum packaging and different temperatures on the growth of spoilage fungi in shelled pecan nuts during storage. **Food Control**, 2021.

ROCKWELL, C. A.; GUARIGUATA, M. R.; MENTON, M.; ARROYO QUISPE, E.; QUAEDVLIEG, J.; WARREN-THOMAS, E.; YUCRA SALAS, J. J. Nut Production in *Bertholletia excelsa* across a Logged Forest Mosaic: Implications for Multiple Forest Use. **PLOS ONE**, v. 10(8), 2015.

RODEZNO, L. A. E.; SUNDARARAJAN, S.; SOLVAL, K. M.; CHOTIKO, A.; LI, J.; ZHANG, J.; ALFARO, L.; BANKSTON, J. D.; SATHIVEL, S. Cryogenic and air blast freezing techniques and their effect on the quality of catfish fillets. **LWT - Food Science and Technology**, v. 54, p. 377-382, 2013.

ROGEL-CASTILLO, C.; LUO, K.; HUANG, G.; MITCHELL, A. E. Effect of Drying Moisture Exposed Almonds on the Development of the Quality Defect Concealed Damage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, n. 40, p. 8948–8956, 2017.

ROS, E. Nuts and CVD. **The British Journal of Nutrition**, v. 113 (2), p. 111-120, 2015.

ROSA, D.; FIGUEIREDO, F.; CASTANHEIRA, É. G.; FREIRE, F. Life-cycle assessment of fresh and frozen chestnut. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, p. 742–752, 2017.

SALAZAR, F.; GARCIA, S.; LAGUNAS-SOLAR, M.; PAN, Z.; CULLOR, J. Efficacy of a heat-spray and heat-double spray process on inoculated nuts with *Salmonella enteritidis* ATCC 1045. **Food Control**, v. 81, p. 74–79, 2017.

SANTANA, A. C. DE; SANTANA, Á. L.; SANTANA, Á. L.; MARTINS, C. M. Valoração e sustentabilidade da castanha-do-brasil na Amazônia. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 60, p. 77-89, 2017.

SILVA JUNIOR, E. C.; WADT, L. H. O.; SILVA, K. E. Natural variation of selenium in Brazil nuts and soils from the Amazon region. **Chemosphere**, v. 188, p. 650–658, 2017.

SIRACUSA, V. Food Packaging Permeability Behavior: A Report. **International Journal of Polymer Science**, v. 2012, 2012.

SOARES, K. M. P.; SILVA, J. B. A.; GÓIS, V. A. Parâmetros de qualidade de carnes e produtos cárneos: uma revisão. **Higiene alimentar**, v. 31, 2017.

STEBEL, M.; SMOLKA, J.; PALACZ, M.; ADAMCZYK, W.; PIECHNIK, E. Numerical investigation of the fluid flow distribution for the hydrofluidisation food freezing method. **International Journal of Thermal Sciences**, v. 151, p. 106284, 2020.

STERN, G. G. **Parâmetros físico-químicos e composição centesimal dos músculos bovinos holandeses alimentados com dietas de alto concentrado**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Itapetinga - Bahia, p. 56-57. 2016.

STOCKLER_PINTO, M.B.; CARRERO, J.J.; WEIDE, L.C.C.; COZZOLINO, S.M.F.; MAFRA, D. Effect of selenium supplementation via Brazil Nut (*Bertholletia Excelsa*, Hbk) on thyroid hormones Levels in hemodialysis patients: a pilot study. **Nutr. Hosp.**, v. 32 , p. 1808-1812, 2015.

TAHMASBIAN, I.; WALLACE, H. M.; GAMA, T.; BAI, S. H. An automated non-destructive prediction of peroxide value and free fatty acid level in mixed nut samples. **LWT**, v. 143, 2021.

TONINI, H. Fenologia da castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl., Lecythidaceae) no sul do estado de Roraima. **Cerne**, v. 17, p. 123-131, 2011.

TRUELL, J. R.; SEO, J.; KIM, Y. H. B. Combined impacts of initial freezing rate of pork leg muscles (*M. biceps femoris* and *M. semitendinosus*) and subsequent freezing on quality characteristics of pork patties. **Meat Science**, v. 170, 2020.

VASCONCELOS, A.A.; CRUZ, K.; WADT, L.O.; ABREU, L.F. Caracterização físico-química de amêndoas e óleos de castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K) provenientes do Estado do Acre. In: Seminário de iniciação científica da Embrapa Amazônia Oriental - A ciência de fazer ciência, 8, 2011, Belém, PA. Anais (on-line). Belém, 2011.

VRIENS, B.; BEHRA, R.; VOEGELIN, A.; ZUPANIC, A.; WINKEL, L.H.E. Selenium uptake and methylation by the microalga *Chlamydomonas reinhardtii*. **Environ. Sci. Technol.**, v. 50, p. 711-720, 2016.

WANG, W.; JUNG, J.; MCGORRIN, R. J.; TRABER, M. G.; LEONARD, S. W.; CHERIAN, G.; ZHAO, Y. Investigation of drying conditions on bioactive compounds, lipid oxidation, and enzyme activity of Oregon hazelnuts (*Corylus avellana* L.). **LWT - Food Science and Technology**, v. 90, p. 526-534, 2018.

XIAO, H. W.; PAN, Z.; DENG, L. Z.; EL-MASHAD, H. M.; YANG, X. H.; MUJUMDAR, A. S.; GAO, Z. J.; ZHANG, Q. Recent developments and trends in thermal blanching – A comprehensive review. **Information Processing in Agriculture**, v. 4, n. 2, p. 101–127, 2017.

XIN, Y.; ZHANG, M.; XU, B.; ADHIKARI, B.; SUN, J. Research trends in selected blanching pretreatments and quick freezing technologies as applied in fruits and vegetables: A review. **International Journal of Refrigeration**, v. 57, p. 11–25, 2015.

YANG, J. Brazil nuts and associated health benefits: A review. **LWT - Food Science and Technology**, v. 42, n. 10, p. 1573–1580, 2009.

ZHANG, J.; LI, M.; DING, Z.; CHENG, J.; YANG, S.; LIU, X. Microwave airflow drying of pecans at variable microwave power. **Journal of Food Process Engineering**, v. 42, n. 1, p. 1–8, 2018.

ZHU, Z.; ZHANG, P.; SUN, D. Effects of multi-frequency ultrasound on freezing rates and quality attributes of potatoes. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 60, 2020.