**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Efeito das etapas de processamento sobre a qualidade de
castanhas-do-brasil (*Bertholletia excelsa*, H.B.K.): avaliação da
fração lipídica e contaminação por aflatoxinas**

Adriana Figueiredo da Silva

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Ciência
e Tecnologia de Alimentos

**Piracicaba
2014**

Adriana Figueiredo da Silva
Bacharel em Ciências dos Alimentos

**Efeito das etapas de processamento sobre a qualidade de castanhas-do-brasil
(Bertholletia excelsa, H.B.K.): avaliação da fração lipídica e contaminação por
aflatoxinas**

Orientador:
Profa. Dra. **THAIS MARIA FERREIRA DE SOUZA VIEIRA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Ciência
e Tecnologia de Alimentos

Piracicaba
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP

Silva, Adriana Figueiredo da

Efeito das etapas de processamento sobre a qualidade de castanhas-do-brasil (*Bertholletia excelsa*, H.B.K.): avaliação da fração lipídica e contaminação por aflatoxinas / Adriana Figueiredo da Silva. - - Piracicaba, 2014.
95 p: il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2014.

1. Castanha-do-brasil 2. Processamento 3. Qualidade 4. Aflatoxinas I. Título

CDD 634.575
S586e

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte - O autor"

AGRADECIMENTOS

Finalizada uma etapa particularmente importante da minha vida, não poderia deixar de expressar o mais profundo agradecimento a todos àqueles que me apoiaram nesta longa caminhada.

Agradeço primeiramente aos meus pais, Isabel e Antônio, e meu irmão Robson. Pelo amor e apoio incondicional em todas as etapas da minha vida.

A toda minha família, por sempre me incentivarem na busca do meu sucesso pessoal e profissional.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e ao Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição da Universidade de São Paulo que através do ensino de qualidade e estrutura, contribuíram com minha formação profissional e com a realização deste trabalho.

À atenciosa e querida professora Thais Maria Ferreira de Souza Vieira, pelo acolhimento e oportunidade de realização deste mestrado, aprendizado e orientação. E pelos bons momentos de descontração.

Aos professores e especialistas que de alguma forma contribuíram com o desenvolvimento deste trabalho. Principalmente à professora Solange Guidolin Canniatti Brazaca, à professora Marisa A. B. Regitano D’Arce, ao professor Cláudio Rosa Gallo, ao professor Carlos Tadeu dos Santos Dias e à especialista Maria Antonia Calori Domingues.

À técnica Mariana Damiames Baccarin pela amizade e auxílio nas análises laboratoriais.

Às queridas estagiárias Bruna Nastaro, Grasiela Santos e Leticia Trevisan que muito contribuíram com este trabalho.

Aos meus queridos amigos e companheiros do Laboratório de Óleos e gorduras Thalita Riquelme Augusto, Larissa Braga Bueno Reis, Adriano Costa de Camargo, Richtier Gonçalves da Cruz, Samuel Schievano Groppo, Gabriela Boscariol Raser e Lucas Ribeiro.

Aos funcionários do Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição.

Aos meus amigos pelo carinho, dedicação e por sempre estarem presentes, tanto nos bons como maus momentos, para me escutar e apoiar. Em especial à Renata do Santos Brito, Carolina Bonfanti Fiori e Juliana Infante.

Ao CNPQ pela concessão da bolsa de mestrado.

E a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização deste trabalho.

EPÍGRAFE

“Para cada esforço disciplinado há uma retribuição múltipla.” (Jim Rohn)

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT	11
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	13
1 INTRODUÇÃO	15
Referências	15
2 AVALIAÇÃO DA CADEIA PRODUTIVA DE CASTANHA-DO-BRASIL (<i>Bertholletia excelsa</i> , H.B.K.) SEGUNDO ASPECTOS DE QUALIDADE.....	17
Resumo	17
Abstract	17
2.1 Introdução	17
2.2 Revisão Bibliográfica	21
2.2.1 Qualidade nutricional da castanha-do-brasil	21
2.2.2 Deterioração lipídica.....	23
2.2.3 Avaliação da qualidade do óleo.....	26
2.2.4 Qualidade perante aspectos microbiológicos	27
2.2.5 Micotoxinas	29
2.2.6 Aflatoxinas.....	30
2.2.7 Aflatoxinas em castanha-do-brasil	33
2.2.8 Beneficiamento e processamento	34
2.2.9 Qualidade na indústria processadora de castanha-do-brasil.....	36
Referências	37
3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE CASTANHAS-DO-BRASIL (<i>Bertholletia excelsa</i> , H.B.K.) E ASPECTOS DE QUALIDADE DA FRAÇÃO LIPÍDICA EM DIFERENTES ETAPAS DO PROCESSAMENTO	47
Resumo	47
Abstract	47
3.1 Introdução	48
3.2 Material e Métodos	49
3.2.1 Processamento e coleta das amostras.....	49
3.2.2 Análises de caracterização das amostras	51
3.2.2.1 Análise centesimal.....	51

3.2.2.2 Composição em ácidos graxos.....	53
3.2.3 Análises microbiológicas.....	54
3.2.3.1 <i>Salmonella</i>	54
3.2.3.2 Coliformes totais e <i>E. coli</i>	54
3.2.4 Análises de qualidade da fração lipídica.....	55
3.2.4.1 Índice de acidez.....	55
3.2.4.2 Índice de peróxido.....	55
3.2.4.3 Absortividade em luz ultravioleta.....	56
3.2.4.4 Estabilidade oxidativa.....	56
3.2.5 Análise estatística.....	56
3.3 Resultados e Discussão.....	57
3.3.1 Composição centesimal.....	57
3.3.2 Composição em ácidos graxos.....	59
3.3.3 Qualidade microbiológica.....	60
3.3.4 Qualidade da fração lipídica obtida de castanha-do-brasil.....	63
3.4 Conclusões.....	69
Referências.....	70
4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA CASTANHA-DO-BRASIL (<i>Bertholletia excelsa</i> , H.B.K.): CONTAMINAÇÃO POR AFLATOXINAS.....	77
Resumo.....	77
Abstract.....	77
4.1 Introdução.....	78
4.2 Material e Métodos.....	80
4.2.1 Processamento.....	80
4.2.2 Coleta das amostras.....	80
4.2.3 Atividade de água.....	82
4.2.4 Análise de aflatoxinas.....	82
4.2.5 Análise estatística.....	83
4.3 Resultados e Discussão.....	83
4.3.1 Atividade de água.....	83
4.3.2 Concentração de Aflatoxinas.....	86
4.4 Conclusões.....	90
Referências.....	90
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	95

RESUMO

Efeito das etapas de processamento sobre a qualidade de castanhas-do-brasil (*Bertholletia excelsa*, H.B.K.): avaliação da fração lipídica e contaminação por aflatoxinas

Espécie típica da floresta amazônica, a castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*, H.B.K.) é uma *commodity* selvagem, que se destaca na economia regional por ser um produto de alto valor econômico nos mercados nacional e internacional. Apresenta também reconhecido valor nutricional, decorrente de sua composição em lipídeos, proteínas e vitaminas, além de constituir uma excelente fonte de selênio. Entretanto, as condições climáticas em que esta cultura se insere, o baixo nível tecnológico característico de sua cadeia produtiva e as condições inadequadas de manejo e manuseio favorecem a contaminação por aflatoxinas, como também, a deterioração por oxidação por ser um alimento constituído de 60 a 70% de lipídeos. Estas deficiências no processo de extrativismo geram problemas para indústria processadora, que deve fornecer ao consumidor um produto de qualidade nutricional e sanitária. Este estudo objetivou caracterizar a castanha-do-brasil em diferentes etapas do processamento, como também avaliar a sua qualidade ao longo do beneficiamento. Foram analisadas amostras coletadas em 3 etapas, ao longo do processamento industrial, representando o início do processamento (castanha *in natura*), fase intermediária (castanha *dry*) e fase final (amêndoas desidratadas). Em cada etapa foram realizadas 8 repetições de amostragens. A composição nutricional foi mantida ao longo do processamento, com predominância do ácido graxo linolênico (ômega-6) nas amostras. O índice de acidez da fração lipídica apresentou resultados satisfatórios, que se encaixam dentro dos limites da legislação vigente para óleos brutos extraídos a frio, com $2,20 \pm 0,84$, $2,48 \pm 0,97$ e $0,18 \pm 0,07$ mg KOH/g de óleo para a castanha *in natura*, *dry* e amêndoa desidratada respectivamente. O índice de peróxido da fração lipídica nas amostras *in natura* apresentaram média de $0,018 \pm 0,010$ mmol/kg, *dry* $0,032 \pm 0,011$ mmol/kg e na amêndoa desidratada $0,044 \pm 0,011$ mmol/kg. Mesmo com o aumento do teor de hidroperóxidos em função do processamento, todas as amostras estão dentro dos padrões estabelecidos na legislação brasileira. Os resultados para absorvância em luz ultravioleta a 232 nm corroboram os resultados da formação de peróxidos, com diferença significativa entre as amostras. Os valores apresentados pelas castanhas *in natura*, *dry* e amêndoa desidratada foram de $2,14 \pm 0,28$, $1,60 \pm 0,47$ e $3,08 \pm 0,37$ E^{1%}_{1cm}, respectivamente. Apesar das diferenças entre indicadores do estado oxidativo das amostras, não houve diferença significativa na estabilidade oxidativa da fração lipídica, quantificada pelo período de indução em Rancimat, cuja média foi de 4,29 horas. A composição em ácidos graxos das amostras também foi similar, sem diferenças significativas entre grupo de ácidos graxos saturados, monoinsaturados e polinsaturados. Em todas as amostras os resultados para coliformes em termos de *E. coli* foram menores que 1 NMP/g, e ausência de *Salmonella* em 25 g de castanha. Entretanto, elevados índices de contaminação por aflatoxinas foram encontrados. Apenas 5 das 24 amostras estavam dentro dos limites estabelecidos nas legislações brasileiras e da União Europeia. Contudo, a presença de contaminação por aflatoxinas nas amostras de amêndoas desidratadas, foi reduzida significativamente, após as etapas de seleção e classificação das castanhas. Por meio destes

resultados concluímos que as etapas do processamento interferem positivamente na qualidade da castanha-do-brasil.

Palavras-chave: Castanha-do-brasil; Processamento; Qualidade; Aflatoxinas

ABSTRACT

Effect of processing steps on the quality of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*, H.B.K.): evaluation of the lipid fraction and aflatoxin contamination

Typical specie of the Amazon rainforest, the Brazil nut (*Bertholletia excelsa*, H.B.K.) is a wild commodity that stands out in the regional economy as a product of high economic value both in Brazilian and international markets. It presents also a recognized nutritional value, due to its composition in lipids, proteins and vitamins, in addition to being an excellent source of selenium. However, the climatic conditions of production regions, the low technological level of its supply chain and the unsuitable conditions of harvesting and handling favor the aflatoxins contamination with consequent risk to consumer health and economic losses, as well as, the deterioration by oxidation because it is a food consisting of 60 to 70% lipids. The deficiencies in processes create problems for the processing industry, that should provide the consumer one product with nutritional and health quality. This study aimed to characterize the Brazil nut at different stages of processing, but also assess their quality along the processing. Samples were analyzed in 3 stages, collected at each step of industrial processing, representing the beginning of processing (*in nature*), intermediate stage (dry nut) and final product (dehydrated kernel). The nutritional composition was maintained throughout the process, with predominant linolenic acid (omega-6) in cold pressed oil samples. Lipidic fraction samples presented low acid values, showing satisfactory results that fit within the limits of current legislation for crude oils: 2.20 ± 0.84 , 2.48 ± 0.97 and 0.18 ± 0.07 mg KOH/g in *in nature*, dry and dehydrated kernel samples, respectively. The peroxide value of the lipid fraction in fresh samples was 0.018 ± 0.010 mmol/kg, in dry sample 0.032 ± 0.011 mmol/kg, and in the dehydrated kernel, 0.044 ± 0.011 mmol/kg. Even with the significant increase in oxidative index, the samples are within the standards established by Brazilian law. The results for absorbance in ultraviolet light (232 nm) corroborate the results of hydroperoxides formation, with significant difference among samples. Absorptivity at 232 nm in *in nature* nuts, dry and dehydrated kernel were 2.14 ± 0.28 , 1.60 ± 0.47 and 3.08 ± 0.37 E^{1%}_{1cm}, respectively. There was no significant difference in oxidative stability measures by induction period in Rancimat. Samples presented a mean of 4,29 hours and the same fatty acid composition (total saturated, monounsaturated and polunsaturated fatty acids). In all samples the results for coliforms in terms of *E. coli* were <1 NMP/g, and there were absence of *Salmonella* in 25 g of nuts. However high levels of contamination by aflatoxins were found. Only 5 of the 24 samples were within the limits established in the Brazilian legislation and the European Union. But, the presence of aflatoxins in dehydrated kernel, was significantly reduced, following the steps of selection and classification of nuts. Through of these results we can conclude that the processing steps positively affect the quality of the Brazil nut.

Keywords: Brazil nut; Processing; Quality; Aflatoxins

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADS - Agência de Desenvolvimento Sustentável do Amazonas
AFB1 - Aflatoxinas B1
AFB2 - Aflatoxinas B2
AFG1 - Aflatoxinas G1
AFG2 - Aflatoxinas G2
ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AOAC - Association of Official Analytical Chemists
AOCS - American Oil Chemists' Society
CAST - Council for Agricultural Science and Technology
Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMSF - International Commission on Microbiological Specifications for Foods
IUPAC - International Union of Pure and Applied Chemistry
OPAS - Organización Panamericana de la Salud
WIPO - World Intellectual Property Organization
WHO - World Health Organization

1 INTRODUÇÃO

A castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*, H.B.K.) é considerada um alimento nutricionalmente rico, pois em sua composição encontram-se principalmente ácidos graxos insaturados (oleico, linoleico e linolênico), proteínas de alto valor biológico e selênio, um importante antioxidante, além de outros minerais e vitaminas. Aliado ao sabor exótico, tais propriedades tem contribuído com a valorização deste alimento nos mercados nacional e internacional, sendo explorado comercialmente na região amazônica desde o declínio do ciclo da borracha (DE SOUZA, 1963; DONADIO; MÔRO; SERVIDONE, 2002; PACHECO; SCUSSEL, 2006).

Entretanto as condições climáticas da região amazônica, em que a cadeia produtiva de castanha-do-brasil se insere, são caracterizadas por temperaturas entre 25 a 30 °C e umidade relativa de aproximadamente 97% e tornam-se obstáculo a sua comercialização ao favorecerem o desenvolvimento de ranço bem como a contaminação por *Aspergillus* seção *Flavi*, fungos estes potencialmente aflatoxigênicos (ARRUS et al., 2005; ZAJDENWERG et al., 2011).

O processamento e a boas práticas de fabricação constituem-se importantes medidas para garantir a qualidade nutricional e para evitar e/ou controlar a contaminação da castanha-do-brasil oferecida ao consumidor, através das etapas de redução de umidade, seleção e classificação (SOUZA; CARTAXO; LEITE, 2004; FREITAS-SILVA; VENÂNCIO, 2011).

Dentro da perspectiva de se obter maiores informações sobre o processamento e a qualidade da castanha-do-brasil, este trabalho buscou compreender o cenário da produção da castanha por meio de revisão bibliográfica e avaliar, através de análises físico-químicas, microbiológicas e toxicológicas, as etapas do processamento da castanha-do-brasil e seu impacto na qualidade do produto.

Referências

ARRUS, K.; BLANK, G.; ABRANSON, D.; CLEAR, R.; HOLLEY, R.A. Aflatoxin production by *Aspergillus flavus* in Brazil nuts. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v. 41, n. 5, p. 513-527, 2005.

DE SOUZA, A.H. **Castanha do Pará**: estudo botânico, químico e tecnológico. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Serviço de Informação Agrícola, 1963. 69 p. (Estudos Técnicos, 23).

DONADIO, L.C.; MÔRO, F.V.; SERVIDONE, A.A. **Frutas brasileiras**. Jaboticabal: Novos Talentos, 2002. 288 p.

FREITAS-SILVA, O.; VENÂNCIO, A. Brazil nuts: benefits and risks associated with contamination by fungi and mycotoxins. **Food Research International**, Barking, v. 44, n. 5, p. 1434-1440, 2011.

PACHECO, A.M.; SCUSSEL, V.M. **Castanha-do-brasil**: da floresta tropical ao consumidor. Florianópolis: Editograf, 2006. 176 p.

SOUZA, M.L.; CARTAXO, C.B.C.; LEITE, F.M.N. **Manual de segurança e qualidade para a cultura da castanha-do-brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 61 p

ZAJDENWERG, C.; BRANCO, G.F.; ALAMED, J.; DECKER, E.A.; CASTRO, I.A. Correlation between sensory and chemical markers in the evaluation of Brazil nut oxidative shelf-life. **European Food Research and Technology**, Berlin, v. 233, n. 1, p. 109-116, 2011.

2 AVALIAÇÃO DA CADEIA PRODUTIVA DE CASTANHA-DO-BRASIL (*Bertholletia excelsa*, H.B.K.) SEGUNDO ASPECTOS DE QUALIDADE

Resumo

Devido à importância da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*, H.B.K.) na economia regional e valorização nos mercados nacional e internacional, além das exigências sanitárias cada vez mais rígidas por parte destes mercados, esta revisão bibliográfica possui como objetivo destacar o panorama da comercialização da castanha-do-brasil, como também caracterizá-la sob os aspectos de qualidade nutricional, abordando a composição centesimal e a estabilidade da fração lipídica, como também elucidar a qualidade microbiológica e a contaminação por aflatoxinas, além de descrever o processamento da castanha-do-brasil e suas etapas, incluindo a importância da adoção de programas de qualidade na produção.

Palavras-chave: Castanha-do-brasil; Comercialização; Qualidade nutricional; Qualidade sanitária; Processamento

Abstract

Given the importance of the Brazil nut (*Bertholletia excelsa*, H.B.K.) in the regional economy and value in the national and international markets, as well as the sanitary requirements increasingly strict by these markets. This literature review is aimed at highlighting the panorama of the commercialization of Brazil-nut, as well as characterising it under the aspects of nutritional quality, while addressing centesimal composition and the stability of the lipid fraction. Its objective is also to elucidate microbiological quality and aflatoxins contamination, while describing the processing of Brazil nut and its stages, including the importance of adoption of quality programs in production.

Keywords: Brazil nut; Commercialization; nutritional quality; sanitary quality; Processing

2.1 Introdução

Explorada comercialmente desde meados de 1600 e descrita pela primeira vez em 1808, a castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Humboldt Bonpland Kunth), nativa da floresta Amazônica, também conhecida como castanha-do-Pará, castanha-do-Maranhão ou castanha-da-Amazônia, é considerada uma das mais importantes espécies de exploração extrativista, desde o declínio da exploração da borracha, e constitui-se importante fonte de renda para agricultores seringueiros e povos indígenas que vivem na Amazônia. Em 1961, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento por meio de um decreto oficializou a denominação de castanha-do-

brasil para efeito de comércio exterior, pois suas amêndoas apresentam alto valor econômico, tornando-se uma das principais atividades econômicas na região de produção (BRASIL, 1961; DE SOUZA, 1963; DONADIO; MÔRO; SERVIDONE, 2002; HOMMA, 2004; PACHECO; SCUSSEL, 2006; KAINER; WADT; STAUDHAMMER, 2007).

Árvore de grande porte, com copa grande e emergente, a castanheira produz frutos globulosos chamados de ouriços, que podem pesar até 5 kg e conter cerca de 10 a 25 sementes (PACHECO; SCUSSEL, 2006). Sua frutificação ocorre durante os meses de dezembro a maio, após aproximadamente 12 – 15 meses da floração, atingindo os picos de produção quando os índices pluviométricos na região Amazônica são elevados (CARVALHO; FERREIRA; HOMMA, 1994). As castanhas, sementes retiradas dos ouriços, são comercializadas com casca ou sem casca (amêndoas) e classificadas de acordo com seu tamanho: pequena (*small*), média (*medium*), extra-média (*extra-medium*), semi-grande (*weak-large*), grande (*large*) e extra-grande (*extra-large*) de acordo com a legislação brasileira (BRASIL, 1976).

Embora haja incidência de castanha em toda a Amazônia Continental, somente no Brasil, Bolívia e Peru a produção tem representação econômica internacional (FAO, 2014). No Brasil, o extrativismo da castanha se caracteriza pela alta concentração da produção em poucos Estados. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, em 2012 a produção brasileira de castanha foi de 38.805 toneladas, sendo o Acre o estado com a maior participação (36,3%), seguido por Amazonas (27,0%), Pará (26,9%), Rondônia (4,4%), Mato Grosso (4,0%), Amapá (1,1%) e Roraima (0,3%) (IBGE, 2014).

A baixa produtividade no Amazonas e os baixos preços em Rondônia foram os principais motivos da queda de 7,9% em relação a 2011. Quebrando a tendência de crescimento verificado desde 2008 (Figura 1). No período de 2003 a 2012, a produção extrativista de castanha-do-brasil cresceu 35,8%. A adoção de boas práticas de manejo na extração e produção de castanha, iniciadas em 2003, possibilitaram ao Brasil retomar os processos de exportação, que vinham sendo rejeitadas pelas barreiras sanitárias internacionais (AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO AMAZONAS, 2011).

Em 2012, 93,9% da produção foi exportada com casca, que possui um menor valor agregado do que as castanhas beneficiadas. Neste mesmo ano o Brasil exportou 4.494 toneladas para a Bolívia e o Peru, estes países compram a castanha

in natura e reexportam para os mercados dos EUA e Europa com maior valor agregado.

Figura 1 - Variações da produção extrativista e de exportações de castanha-do-brasil (2003-2012)
Fontes: Brasil (2014), IBGE (2014)

O interesse global pela biodiversidade Amazônica fica evidente quando analisamos os números apresentados pela *World Intellectual Property Organization* – WIPO referentes a patentes requeridas, por países desenvolvidos. Os Estados Unidos detém 72 patentes de produtos oriundos da castanha-do-brasil (WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION, 2011). Além dos EUA, entre os principais países compradores de castanha-do-brasil estão Inglaterra, França, Alemanha e Itália.

De acordo com Enríquez (2009), há mais de dois séculos o Brasil exporta castanhas para o mercado americano e europeu. Entretanto, os maiores problemas enfrentados para a exportação da produção de castanhas está nas exigências dos compradores quanto à qualidade das amêndoas e o controle contra a contaminação por micotoxinas, principalmente quanto à contaminação por aflatoxinas - toxinas produzidas por fungos do gênero *Aspergillus* seção *Flavi* que, em altas concentrações, oferece riscos à saúde.

Além da contaminação por aflatoxinas, outras contaminações de natureza biológica, química e física ocorrem no período pós-colheita e durante o processamento da castanha-do-brasil. A exposição a estes perigos se dá,

principalmente, devido à prolongada exposição da castanha a fatores ambientais na floresta e às condições de transporte e de manipulação na indústria. Outro fator importante a se considerar nesta problemática é que a cadeia produtiva de castanha-do-brasil é formada por muitos agentes intermediários: produtor (extrativista), agente intermediário, usina de processamento ou agroindústria, atacadista, varejista, indústria (de alimentos, química, cosméticos, e fármacos), consumidor interno e exportador, dificultando o controle frente a estas contaminações (SOUZA, 2006).

Desta forma, para receber castanhas com qualidade nutricional e livres de contaminantes, países europeus e os Estados Unidos criaram barreiras sanitárias, que aumentam o rigor para importação de castanha e visam um maior controle de qualidade dos produtos, que por consequência, exige um maior grau de organização em todas as etapas da produção da castanha-do-brasil (COSLOVSKY, 2005). Todavia, apesar dos avanços tecnológicos verificados, a exploração da castanha-do-brasil ainda é predominantemente extrativista, embora hoje já se observe interferência do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para incentivar estudos em práticas de produção e pós-colheita que garantam a qualidade, em virtude às exigências sanitárias cada vez mais rígidas por parte do mercado internacional (SOUZA; MENEZES, 2008).

A castanheira fornece diversos produtos e subprodutos, as amêndoas possuem maior valor econômico devido ao seu aproveitamento na alimentação humana, por possuir alto valor nutritivo (SOUZA, 2003). As amêndoas são caracterizadas por serem ricas em proteínas, lipídeos, carboidratos, fibras e vitaminas. Além de possuírem um sabor exótico, apresentam o selênio, uma substância de efeito antioxidante, como um dos principais elementos de sua composição química (SOUZA; CARTAXO; LEITE, 2004). O grande mercado para amêndoa é devido ao seu amplo uso na indústria alimentícia para a produção de farinha desengordurada, panificação, confeitarias, mingaus, bolos, formulados, biscoitos, doces, suplementos protéicos, extrusados, concentrados, leites desengordurados, bebidas dietéticas, sorvetes, além de serem consumidas *in natura*, salgadas ou cristalizadas (MARTINS; SILVA; SILVEIRA, 2008). O óleo amarelo claro e com cheiro agradável, extraído da castanha-do-brasil, pode ser consumido para uso culinário e também por indústrias farmacêuticas e de cosméticos, porém possui uso limitado em todo o mundo (CHUNHIENG et al., 2008).

Atualmente, o mercado global está cada vez mais exigente no que concerne à qualidade alimentar do produto e às consequências ao ambiente relacionadas à sua produção. Surgiram novos fatores de diferenciação de produtos com preferência crescente para aqueles oriundos de cadeias produtivas ambientalmente corretas, socialmente justas e economicamente viáveis.

O aumento da competição externa e as mudanças no perfil do consumidor interno podem ser apontados como elementos determinantes no processo de aplicação de ferramentas da qualidade pelas agroindústrias processadoras de castanha-do-brasil. Indústrias preparadas para atender a demanda do mercado são um diferencial neste segmento. É nesse contexto que a presente pesquisa se inscreve, buscando compreender as etapas de processamento da castanha-do-brasil, bem como, seus impactos na qualidade deste produto que é destinado ao mercado nacional e internacional. As avaliações dos aspectos nutricionais e sanitários poderão auxiliar na modernização da cadeia produtiva, visando inovações em termos de qualidade, bem como na valorização deste alimento frente a novos mercados.

2.2 Revisão Bibliográfica

2.2.1 Qualidade nutricional da castanha-do-brasil

Apreciada por seu sabor exótico e considerada um alimento nutricionalmente rico, a castanha-do-brasil é constituída principalmente por ácidos graxos insaturados e proteínas de alto valor biológico. A proteína da amêndoa de castanha-do-brasil é rica em todos os aminoácidos essenciais, principalmente a metionina e cisteína. Os escores químicos destes aminoácidos na castanha são encontrados em valores superiores, aos dos padrões estabelecidos pela FAO. Também é uma importante fonte de fibras, vitaminas e minerais, entre eles a tiamina, niacina, vitamina E, vitamina B6, selênio (Se), magnésio (Mg), fósforo (P), cálcio (Ca), ferro (Fe), potássio (K), zinco (Zn) e cobre (Cu) (SOUZA; MENEZES, 2004; PACHECO; SCUSSEL, 2006; FERREIRA, E. et al., 2006; YANG, 2009).

A composição lipídica das castanhas apresenta semelhança com composição da dieta do mediterrâneo, caracterizada por uma alta ingestão de ácidos graxos monoinsaturados em detrimento da diminuição dos saturados, que tem sido associada a um baixo risco de desenvolvimento de alguns tipos de câncer,

principalmente colorretal, mama e próstata (GONZÁLEZ; SALAS-SALVADÓ, 2006). Estudos indicam também o efeito protetor contra doenças cardiovasculares quando são consumidas castanhas e nozes frequentemente, cerca de 28 a 100 g/dia. As castanhas podem ser utilizadas para substituir a fonte de energia proveniente dos lipídeos, diminuindo o consumo de ácidos graxos saturados por maiores quantidades de insaturados, mantendo a quantidade de gordura na dieta. Através desta estratégia é possível reduzir as concentrações do colesterol total e de LDL, além de prevenir a diminuição do HDL e o aumento de triacilglicerol, em dietas de baixa gordura e ricas em carboidratos (KRIS-ETHERTON et al., 1999; ABE; LAJOLO; GENOVESE, 2010).

O ácido graxo oleico está presente em maior quantidade no óleo da amêndoa da castanha-do-brasil. Mas, esta semente, proporciona também, uma ótima quantidade de ácido graxo linoleico. A fração lipídica é caracterizada por conter aproximadamente 13% de ácidos graxos saturados (palmítico e esteárico), o teor destes ácidos presentes na castanha-do-brasil está entre os mais altos encontrados nas nozes. Entre os ácidos graxos insaturados 51% são monoinsaturados (oleico) e 34% poli-insaturados (linoleico – ômega-6; linolênico – ômega-3) (FERREIRA, E. et al., 2006; YANG, 2009).

O consumo de castanha-do-brasil também fornece outros nutrientes que estão relacionados a efeitos protetores do organismo. A vitamina E constitui-se um importante composto antioxidante e o selênio (Se), que é não diretamente um nutriente antioxidante, mas um componente importante da enzima antioxidante glutathione-peroxidase que protege as células da formação de radicais livres. Este mineral também é importante para o funcionamento imunológico e da tireóide, e atua como agente protetor contra o câncer de próstata, fígado e pulmões (PACHECO; SCUSSEL, 2006; GONZÁLEZ; SALAS-SALVADÓ, 2006; YANG, 2009).

Uma castanha contém em média 178 µg de Se, quantidade suficiente para suprir a dose diária recomendada deste mineral. A ANVISA, estabelece ingestão diária recomendada de 34 µg para adultos, 30 µg para gestantes e 21 µg para crianças entre 4 e 10 anos (BRASIL, 2004). Por outro lado, apesar de ser um composto benéfico para o organismo se ingerido em excesso pode ocasionar toxicidade. A doença ocasionada por excesso de Se no organismo é denominada Selenose e apresenta como principal sintoma alterações progressivas na estrutura de queratina, queda de cabelo, descamação das unhas, lesões na pele, além de

causar problemas gastrointestinais, em casos mais graves, afeta o sistema neurológico ocasionando problemas motores e sensoriais (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1986). O valor tolerável de ingestão de selênio para adultos é de 400 µg por dia. Sendo assim recomendado ingerir até duas castanhas por dia, para evitar processos de intoxicação (AMAYA-FARFAN; DOMENI; PADOVANI, 2001).

Para o oferecimento deste alimento rico em lipídeos, vitaminas e minerais com qualidade ao consumidor, as práticas de manejo e processamento adotados no beneficiamento de castanha-do-brasil devem visar por manter as características nutricionais através da preservação dos ácidos graxos, como também serem eficientes no controle microbiológico e toxicológico

2.2.2 Deterioração lipídica

A oxidação de lipídeos além de diminuir a qualidade nutricional dos alimentos, é a reação responsável pela formação de odor e sabor de ranço. Após a deterioração microbiana, a oxidação lipídica se destaca como importante causa de deterioração de alimentos, degradação esta que ocorre durante a fabricação, armazenamento, distribuição e no preparo dos alimentos. Os óleos e gorduras fornecem energia e ácidos graxos essenciais e são imprescindíveis para o transporte e absorção de vitaminas lipossolúveis. Portanto, o desenvolvimento de ranço constitui-se um sério problema econômico e tecnológico para a indústria de alimentos, pois a alteração na cor e a formação de compostos secundários tóxicos na oxidação fazem destes alimentos menos aceitáveis ou inaceitáveis pelo consumidor (FRANKEL, 1980; FRANKEL, 1996; LINDLEY, 1998; WĄSOWICZ et al., 2004). A agroindústria processadora de castanha-do-brasil e coprodutos está inclusa neste contexto, uma vez que a quantidade de lipídeos na amêndoa está entre 60 e 70%.

Fatores como temperatura, a presença de catalisadores ou inibidores e a natureza dos substratos são responsáveis pela taxa de oxidação. A presença de oxigênio é fator primordial para a reação de oxidação lipídica nos alimentos que pode ocorrer por auto-oxidação, fotoxidação, e oxidação enzimática (SILVA; BORGES; FERREIRA, 1999; WĄSOWICZ et al., 2004; REGITANO-D'ARCE, 2006).

Na auto-oxidação a reação espontânea de radicais livres em cadeia ocorre em três etapas, entre os ácidos graxos insaturados dos triglicerídeos e o oxigênio molecular (FRANKEL, 1991). Os radicais livres são formados por meio da absorção

de energia da irradiação, do tratamento térmico ou pela reação com íons metálicos ou com outros radicais livres (Figura 2) (REGITANO-D'ARCE, 2006).

A primeira etapa da reação de oxidação consiste na utilização dos substratos, oxigênio e ácido graxo insaturado. Ocorre então a formação de peróxidos e hidroperóxidos, cuja estrutura depende da natureza dos ácidos graxos presentes. Quando o radical peroxila é formado este pode reagir com outra molécula de ácido graxo ou com a mesma molécula inicial para remover um hidrogênio, assim forma-se o hidroperóxido e outro radical livre. Por fim, os peróxidos se reorganizam formando os compostos secundários: epóxidos, compostos voláteis e não voláteis (FRANKEL, 1980; HAMILTON, 1997; SILVA; BORGES; FERREIRA, 1999).

Início

Propagação

Decomposição do hidroperóxido

Término

Figura 2 - Reações de autooxidação

RH = Triglicerídeo ou ácido graxo insaturado; OH = Grupamento hidroxila; R• = Radical livre; RO• = Radical alcóxila; ROO• = Radical peróxila; ROOH = Hidroperóxido

Fonte: Regitano-D'Arce (2006)

A fotooxidação ocorre a partir de um reativo intermediário, o oxigênio singlete. Na presença de moléculas fotossensibilizadoras, tais como a clorofila, feofitina, mioglobina, e radiação ultravioleta, a reação é catalisada. O oxigênio singlete reage diretamente com a dupla ligação formando hidroperóxidos que posteriormente serão

transformados em aldeídos, álcoois e hidrocarbonetos (HAMILTON, 1997; SILVA; BORGES; FERREIRA, 1999).

Já na oxidação enzimática, as enzimas lipoxigenases catalisam a adição de oxigênio nos ácidos graxos polinsaturados. Como resultado ocorre a formação de peróxidos e hidroperóxidos com duplas ligações conjugadas (HALLIWELL et al., 1995; SILVA; BORGES; FERREIRA, 1999). A aplicação de calor inativa estas enzimas e esta ferramenta pode ser utilizada como prevenção deste tipo de oxidação (BELITZ; GROSH, 1999).

Estas reações de oxidação formam compostos voláteis que são responsáveis pelo *off-flavor* nos óleos comestíveis. Compostos como hidrocarbonetos, álcoois, furanos, aldeídos, cetonas, e compostos ácidos são formados de acordo com a composição dos hidroperóxidos (MIN; BRADLEY, 1992).

Tanto na dieta, como *in vivo*, a oxidação lipídica tem sido apontada como causa primária de muitas doenças. No organismo a formação de compostos reativos através da peroxidação pode conduzir a alterações na permeabilidade e fluidez da membrana lipídica e alterar drasticamente a integridade das células (BARRERA, 2012). Estas alterações contribuem para o desenvolvimento de aterosclerose, alguns tipos de câncer, além da participação no processo de envelhecimento. Enquanto que a preocupação com a ingestão de compostos de baixo peso molecular, gerados a partir de reações de oxidação nos alimentos, está no fato destes serem absorvidos no sistema circulatório e então incorporados no fígado ou outros tecidos do organismo. Um composto que recebe atenção é o malodialdeído, devido sua reação com o DNA celular, podendo gerar células tumorais (KROMHOUT, 2001; WĄSOWICZ et al., 2004).

O controle da reação de oxidação é um desafio importante para os processadores de castanha-do-brasil, uma vez que o descascamento e o beneficiamento expõem as amêndoas à luz e à umidade (RIBEIRO et al., 1993; ZAJDENWERG, 2011). A remoção da película que envolve a amêndoa também contribui com a exposição aos agentes que favorecem o ranço, uma vez que esta película é rica em antioxidantes (BLOMHOFF et al., 2006). A potencial atividade antioxidante dos polifenóis, fitosteróis e outros antioxidantes presentes em nozes, particularmente na película, evitam os efeitos adversos da oxidação (LÓPEZ-URIARTE et al., 2009).

A castanha-do-brasil é rica em tocoferol e tocotrienol, antioxidantes naturais que impedem a formação do ranço (FRANKEL, 1991; GIMENO et al., 2000; SATTLER et al., 2004; FUNASAKI et al., 2013). Devido ao alto índice de ácido oleico e linoleico, ácidos graxos poli-insaturados, o óleo de castanha-do-brasil pode ser muito instável (PACHECO; SCUSSEL, 2006). A estabilidade do óleo extraído da castanha-do-brasil também é consequência do clima no qual a coleta e processamento são realizados, a temperatura elevada e a alta umidade da região Amazônica podem levar à rancidez hidrolítica, como também a manipulação durante a coleta, processamento e armazenamento (ZAJDENWERG et al., 2011).

As castanhas em geral, quando em condições favoráveis podem ser armazenadas e consumidas em um período de até 2,5 anos, porém quando armazenadas em condições inadequadas estão susceptíveis a ações de insetos, microrganismos deterioradores, além da ação das enzimas e desenvolvimento de ranço. A quantidade de óleo presente na castanha por si só não define a estabilidade durante o armazenamento, deve-se observar também o grau de instauração, a presença de tocoferóis, beta-caroteno e clorofila, além do controle da temperatura e umidade (ZACHEO; CAPPELLO; PERRONE, 1998; GARCÍA-PASCUAL et al., 2003; ARENA; BALLISTRERI; FALLICO, 2013; SHAKERARDEKANI et al., 2013).

2.2.3 Avaliação da qualidade do óleo

O óleo amarelo-claro extraído da castanha-do-brasil por processo de prensagem a frio apresenta o mesmo sabor e aroma encontrados na amêndoa. Como características que o definem apresenta o ponto de fusão entre 0 e -2 °C, densidade 0,917-0,918 a 15 °C, índice de refração 1,458-1,464 em 25 °C, índice de iodo de 97-109 mg iodo/100 mg e índice de saponificação de 192-202 mg KOH/g de óleo (PECHNIK; BORGES; SIQUEIRA, 1950; ZÁCARI, 2008).

Os parâmetros definidos pela legislação brasileira para a qualidade dos óleos vegetais são o índice de acidez e o índice de peróxido (BRASIL, 2005). Porém, estes valores ainda não foram definidos para o óleo de castanha-do-brasil, apenas para os óleos obtidos a partir do arroz, soja, canola, milho, oliva, algodão, amendoim, girassol e uva, bem como para as gorduras de coco, babaçu, palma e palmiste.

As boas práticas de manejo, armazenamento e processamento das oleaginosas influenciam diretamente a estabilidade e quantidade de ácidos graxos

livres presentes no óleo (MORETTO; FETT, 1998). A formação destes ácidos graxos é resultado da hidrólise na ligação éster entre o glicerol e ácido graxo de alguns triglicerídeos. A reação de rancidez hidrolítica é catalisada por luz e calor, e ocorre na presença de umidade ou através de enzimas lipases, que podem ser de origem da oleaginosa ou microbiana (OSAWA; GONÇALVES, 2006). Também expresso em porcentagem de ácidos graxos livres, o índice de acidez é definido como o número de miligramas de hidróxido de potássio necessários para neutralizar, em 1 g de óleo, os ácidos graxos livres presentes (AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY - AOCS, 2009).

O valor de peróxido é amplamente utilizado como um indicador do grau de oxidação. Sua análise é vantajosa, uma vez que mede diretamente os produtos primários gerados na reação de oxidação (SHANTHA; DECKER, 1994; HORNERO-MÉNDEZ; PÉREZ-GÁLVEZ; MÍNGUEZ-MOSQUERA, 2001). Por outro lado, devido à instabilidade dos hidroperóxidos, a avaliação do índice de peróxido como ferramenta de qualidade deve ocorrer na fase inicial da oxidação, pois o nível da concentração varia de acordo com o estágio da reação, inclusive pode ser degradado com formação de outros compostos carbonílicos. Apesar do óleo não apresentar odor e sabor de ranço, a presença de hidroperóxidos é um indicador da deterioração que está prestes a acontecer (REGITANO-D'ARCE, 2006).

2.2.4 Qualidade perante aspectos microbiológicos

As condições edafoclimáticas da floresta Amazônica constituem importante fonte de proliferação e contaminação microbiológica. Os ouriços (frutos da castanheira) permanecem em contato com o solo e folhas em decomposição até o momento da coleta. No caminho percorrido, desde o transporte até a agroindústria processadora, as castanhas são expostas aos mais diversos tipos de microrganismos (MARTINS JUNIOR et al., 2011). A organização do trabalho, característica do extrativismo da castanha-do-brasil, pode favorecer a constituição de pontos de contaminação com consequente risco à saúde do consumidor e a perdas econômicas comuns em todas as etapas da cadeia produtiva (ÁLVARES et al., 2012).

Martins Junior, Correia e Kanzaki (2009), isolaram bactérias de amostras de ouriços, castanhas com casca e sem casca, e as espécies *Klebsiella pneumoniae*, *Enterococcus durans*, *Enterobacter cloacae*, *Serratia marcescens*, *Kocuria varians*,

Lactococcus garviae, *Moraxella* spp., *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Citrobacter koseri*, *Achromobacter* spp foram encontradas.

No processamento, principalmente nas etapas onde ocorre maior manipulação, bactérias potencialmente patogênicas, também podem ser encontradas. Como espécies de *Salmonella* spp, *Shigella* spp, *Escherichia coli*, *Yersinia enterocolitica*, *Campylobacter jejuni*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* (SOUZA; CARTAXO; LEITE, 2004).

Embora a microbiota encontrada seja diversificada, a legislação brasileira através da Resolução nº 12 de 2001 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA, estabelece como padrão para comercialização parâmetros apenas para as espécies de Coliformes termotolerantes a 45 °C, com tolerância para amostra indicativa de 10^3 e ausência em 25 g para *Salmonella* spp (BRASIL, 2001).

A *Salmonella* é o principal agente de doenças de origem alimentar em várias partes do mundo e também no Brasil. Pertence à família Enterobacteriaceae, definida como bastonetes Gram negativos não esporogênicos, anaeróbios facultativos e oxidase negativos. Também não produzem butilenoglicol (Voges-Proskauer negativas) nem fenilalanina deaminase. Normalmente são móveis, mas as cepas dos sorotipos *Gallinarum* e *Pullorum*, ao contrário, usualmente são imóveis. Reduzem nitrato a nitrito (exceto 2% das cepas do sorotipo *Choleraesuis*) e são VM (vermelho de metila) positivas (exceto 9% das cepas do sorotipo *Pullorum*). Normalmente produzem gás a partir de glicose, mas as cepas dos sorotipos *Typhi* e *Gallinarum* são negativas. A temperatura de crescimento varia entre 5 e 46 °C, com ótima entre 35 e 43 °C. O pH de crescimento varia entre 3,8 e 9,5 com ótimo entre 7,0 e 7,5. A atividade de água mínima para crescimento é de 0,94 (INTERNATIONAL COMMISSION ON MICROBIOLOGICAL SPECIFICATIONS FOR FOODS, 1996; FRANCO; LANDGRAF, 2004; SILVA et al., 2010).

A bactéria *Escherichia coli* pertencente ao grupo dos coliformes é utilizada como um indicador de contaminação de origem fecal desde 1882. Os coliformes totais são compostos por bactérias da família Enterobacteriaceae, bactérias bacilares Gram negativas, não formadoras de esporos e capazes de fermentar a lactose, com produção de gás quando incubados a 35-37 °C por 48h. O subgrupo dos coliformes fecais, atualmente denominado coliformes termotolerantes, é diferenciado por sua capacidade de crescer em temperaturas elevadas, 45 °C $\pm$ 0,2 °C (NERO; BELOTI; BARROS, 2000; SILVA; JUNQUEIRA; SILVEIRA, 2010).

Diante das condições microbiológicas, os fungos recebem destaque na contaminação da castanha-do-brasil, pois as principais espécies encontradas neste alimento são produtores de micotoxinas. A quantidade destes metabólitos nas castanhas são os principais responsáveis pelas barreiras sanitárias impostas pelos países compradores.

2.2.5 Micotoxinas

As micotoxinas são metabólitos secundários produzidos por determinados fungos filamentosos. Sintetizadas na fase estacionária do crescimento fúngico, são formadas quando grandes quantidades de precursores de metabólitos primários, tais como aminoácidos, acetato, piruvato, entre outros compostos, são acumulados (BETINA, 1984; SWEENEY; DOBSON, 1998; JAY, 2005). O contato ou a ingestão destes metabólitos presentes nos alimentos ou rações animais causam as micotoxicoses, constituindo-se em um sério problema de saúde pública (HAYES, 1978; BENNETT; KLICH, 2003).

Algumas espécies de fungos produzem toxinas que são utilizadas pelo homem para a produção de antibióticos, como por exemplo, a Penicilina produzida pelo *Penicillium chrysogenum* e a Cefalosporina pelo *Acremonium chrysogenum* (MEYER, 2008). Porém os fungos do gênero *Aspergillus* seção *Flavi* produzem as aflatoxinas, que são micotoxinas com capacidade toxigênica, mutagênica, teratogênica e cancerígena, principalmente o *Aspergillus flavus*, *Aspergillus parasiticus* e *Aspergillus nomius* (CASTRILLON; PURCHIO, 1988; MUNINBAZI; BULLERMAN, 1996; MASSEY et al., 1995 apud RUSTOM, 1997; SWEENEY; DOBSON, 1998).

Entretanto outras espécies pertencentes a este gênero foram reconhecidas como produtoras de aflatoxinas nos gêneros alimentícios, das quais fazem parte *A. arachidicola*, *A. bombycis*, *A. parvisclerotigenus*, *A. pseudotamarii*, e *A. toxicarius* (ITO et al., 2001; SAMSON; HONG; FRISVAD, 2006; PILDAIN et al., 2008; CALDERARI et al., 2013).

Os principais fatores que favorecem o crescimento dos fungos do gênero *Aspergillus* seção *Flavi* e a produção de aflatoxinas dependem de diversos fatores tais como: substratos, temperatura, pH, meio ambiente, umidade relativa do ar, bem como a competição microbiana (GOURAMA; BULLERMAN, 1995).

A contaminação natural de cereais, sementes oleaginosas, amêndoas, especiarias e de outras *commodities*, são comuns por serem substratos extremamente favoráveis ao crescimento de fungos aflatoxigênicos. Esta contaminação pode ocorrer nas diversas etapas do desenvolvimento da planta, colheita ou estocagem de alimentos, podendo permanecer no alimento mesmo depois que os fungos responsáveis pela produção não estejam mais presentes (TANIWAKI; SILVA, 2001; FREIRE et al., 2007).

Os alimentos armazenados representam excelente campo para a proliferação dos fungos, principalmente quando os princípios básicos de secagem e armazenamento adequados são desconhecidos ou desprezados, desta forma, nem sempre as melhores condições de crescimento do fungo coincidem com as condições de síntese da toxina (SCUSSEL, 1998).

O clima quente e úmido favorece o crescimento de fungos produtores de aflatoxinas, sendo assim grande a presença destas toxinas em alimentos e rações oriundas de países tropicais e subtropicais. A frequente incidência de aflatoxinas em produtos agrícolas representa um grave problema de segurança sanitária e de impacto negativo sobre as economias das regiões afetadas, especialmente nos países em desenvolvimento, onde as técnicas de prevenção de crescimento destes fungos na colheita e pós-colheita são deficientes (RUSTOM, 1997).

2.2.6 Aflatoxinas

Em 1960, no Reino Unido, após um surto grave que resultou na morte de mais de 100.000 perus e outros animais, as aflatoxinas foram descobertas e associadas à morte destes animais. A causa da doença foi atribuída à ração que continha como ingrediente farelo de amendoim brasileiro contaminado com a micotoxina e ficou conhecida como “Doença X” (SARGEANT et al., 1961). O termo aflatoxinas foi formado a partir do nome do seu principal agente produtor (*Aspergillus flavus* toxina).

As principais aflatoxinas são derivadas do grupo de metabólitos bisfurocuma produzidos por *A. flavus*, *A. parasiticus* e *A. nomius* são denominadas AFB1, AFB2, AFG1 e AFG2. Em relação à natureza química, as aflatoxinas são formadas por compostos dihidrofuranos ou tetrahydrofuranos ligados a um anel cumarínico, ou seja, são cumarinas altamente substituídas. As aflatoxinas B apresentam anel ciclopentanona na molécula, enquanto que as da série G possuem anel lactona. As

aflatoxinas B2 e G2 são dihidroderivados de B1 e G1. Estes compostos foram nomeados de acordo com sua fluorescência na luz ultravioleta (UV) de comprimento de onda longo: “B” de *blue* e “G” de *green* (Figura 3). A aflatoxinas B1 é a mais abundante e tem o maior potencial tóxico, seguido da aflatoxinas G1, B2 e G2 (LONGHDE; VIES; VAN PELT, 1964; DUTTON; HEATHCOTE, 1966; GOURAMA; BULLERMAN, 1995; COUNCIL FOR AGRICULTURAL SCIENCE AND TECHNOLOGY, 2003; FREIRE et al., 2007).

Figura 3 - Estrutura química das aflatoxinas
Fonte: Feire et al. (2007)

A. flavus produzem aflatoxinas B1 e B2, enquanto que *A. parasiticus* e *A. nomius* produzem B1, B2, G1 e G2. *A. parasiticus* tende a ser mais estável na produção aflatoxinas do que *A. flavus* (GOURAMA; BULLERMAN, 1995; CALDERARI et al., 2013).

A *International Commission on Microbiological Specifications for Foods* – ICMSF (1996) estabelece alguns parâmetros importantes, tais como temperatura, atividade de água, e pH para o desenvolvimento de fungos produtores de micotoxinas e para o metabolismo da mesma. A temperatura considerada ótima para o crescimento de *A. flavus* e *A. parasiticus* é de 33 °C e 32 °C respectivamente. Os limites de temperatura para o crescimento destes fungos variam de 10 a 43 °C. Enquanto que a variação na temperatura para a produção de aflatoxinas constitui-se de 12 a 47 °C com ótimo entre 16 e 31 °C.

A atividade de água (A_w) requerida para o crescimento do fungo apresenta-se ótima em 0,98, com variação de 0,80 a >0,99. Para a produção da aflatoxinas os

valores são de 0,82 a >0,99 e a atividade de água considerada mais favorável é de 0,95 a 0,99 (INTERNATIONAL COMMISSION ON MICROBIOLOGICAL SPECIFICATIONS FOR FOODS - ICMSF, 1996).

A espécie *A. nomius* é morfologicamente semelhante a *A. flavus*, mas apresenta um perfil toxigênico similar ao *A. parasiticus*. Possui crescimento mais lento a 42 °C do que o *A. flavus* e é ligeiramente menos xerofílico do que estas duas espécies (KURTZAM; HORN; HESSELTINE, 1987).

O pH ótimo para o desenvolvimento de *A. flavus* e *A. parasiticus* situa-se entre 5 e 8, mas os mesmos podem crescer em ampla faixa de pH (2 a >11). Sabe-se que pH menor que 6 favorece a produção da AFB1 e AFB2, e pH maior que 6, a produção de AFG1 e AFG2 (ICMSF, 1996).

A produção de aflatoxinas é inibida mediante aumento gradual da concentração de dióxido de carbono de 20 para 100% (LANDERS; DAVIS; DIENER, 1967). Em concentrações de 100% de CO₂ ocorre total inibição do crescimento do fungo, bem como da formação da micotoxina (SCUSSEL, 1998).

Estudos realizados demonstram a relação entre a ocorrência de doença aguda e crônica, e a ingestão de alimentos contaminados com aflatoxinas e outras micotoxinas. Desta forma, medidas para evitar o crescimento de fungos e a produção de micotoxinas ao longo de toda a cadeia alimentar, desde o campo até a mesa do consumidor, devem ser tomadas (GOURAMA; BULLERMAN, 1995; REDDY, RAGHAVENDER; 2007).

A aflatoxicose é causada principalmente pela ingestão de alimentos contaminados com aflatoxinas. A maior incidência da doença é verificada em animais de produção, devido à ingestão de rações contaminadas, mas a doença já foi documentada em humanos, sendo predominante em países subdesenvolvidos (SCHOENTAL, 1967; BENNETT; KLICH, 2003; REDDY; RAGHAVENDER, 2007). As aflatoxinas possuem características hepatotóxicas e carcinogênicas, constituindo-se um composto altamente tóxico para os humanos (JAY, 2005; YARD et al., 2013).

Um dos surtos mais importante de aflatoxicose em humanos foi na Índia (1974), onde 397 pessoas ingeriram milho contaminado com aflatoxinas e 106 morreram. Também foram verificados relatos da doença no Quênia em 1982 com 60% de mortalidade entre os contaminados por aflatoxinas. Relatos atuais, documentados desde 2004, resultam em cerca de 500 doenças agudas e 200

mortes, com 40% de mortalidade (AZZIZ-BAUMGARTNER et al., 2005; YARD et al., 2013).

As micotoxinas podem apresentar um potencial carcinogênico de até 100 vezes a mais que substâncias como pesticidas e aditivos (KUIPER-GOODMAN, 1999). Dentre as aflatoxinas, a aflatoxina B1 é a mais potente em termos de potencial hepatocarcinogênese e também é a encontrada em maior concentração em alimentos e rações (LEE et al., 2004). O câncer de fígado tem sido associado, dentre outros fatores, à ingestão de aflatoxinas. A toxicidade pode ser influenciada pelo teor ingerido, duração da exposição, idade, estado nutricional, outras substâncias químicas e fatores ambientais. Cada indivíduo pode responder diferentemente quanto à toxicidade das aflatoxinas, desenvolvendo um quadro crônico ou agudo da doença (SCOTT, 1997).

2.2.7 Aflatoxinas em castanha-do-brasil

Um clima caracterizado por umidade relativa de 97% acompanhado de temperaturas entre 25 a 30 °C são o cenário da época de coleta dos ouriços de castanha-do-brasil, e estes fatores estão diretamente relacionados com a formação de aflatoxinas neste tipo de castanha (KHEIRALLA; HASSANIN; AMRA, 1992; ARRUS et al., 2005).

Em 2003, após a devolução de lotes de castanha, contaminados por aflatoxinas, oriundas do Brasil, os países da União Europeia estabeleceram condições especiais para a importação de castanha-do-brasil com casca. Desde então, as aflatoxinas tornaram-se alvo de estudos em castanhas para minimizar o impacto da ocorrência das mesmas neste produto e como consequência o reestabelecimento das exportações (ÁLVARES et al., 2012).

Por se tratar de uma *commodity* de origem predominantemente extrativista, a castanha-do-brasil está exposta a condições que favorecem o crescimento de fungos na natureza, no transporte e armazenamento. Apesar das condições de baixa atividade de água após o processamento, é possível encontrar contaminação nas castanhas, pois quando expostas temporariamente a condições favoráveis ao desenvolvimento, a contaminação pode ocorrer (BAYMAN; BAKER; MAHONEY, 2002; PACHECO; SCUSSEL, 2006). A susceptibilidade de castanha-do-brasil à colonização com *Aspergillus seção Flavi* ainda na floresta indica o solo como fonte principal de contaminação. Por se tratar de um produto extrativista as boas práticas

agrícolas para as culturas cultivadas não se aplicam, os ouriços podem permanecer em contato com solo úmido por longos períodos antes de serem coletados. A umidade relativa da região também desempenha um papel importante no crescimento de fungos durante este período, com o consequente risco de produção de aflatoxinas (BAQUIÃO et al., 2012; CALDERARI et al., 2013).

Para serem oferecidas aos consumidores com segurança, são necessárias intervenções na gestão de toda a cadeia de castanha-do-brasil. O processamento e a boas práticas nesta etapa constituem a melhor medida até o momento para evitar a contaminação e garantir a qualidade (FREITAS-SILVA; VENÂNCIO, 2011). A atenção com a qualidade no transporte e armazenamento representa importância relevante neste controle (FERREIRA, H. et al., 2006). Como também a estratégia de remover as castanhas visivelmente danificadas por insetos, ação esta que reduz significativamente o nível da contaminação por aflatoxinas, no entanto, *A. flavus* e outros fungos toxigênicos, podem estar presentes em castanhas sem danos (BAYMAN; BAKER; MAHONEY, 2002). Nas etapas do processamento, a seleção visual das amêndoas e a classificação, bem como os demais procedimentos adotados no beneficiamento podem reduzir a contaminação (MARKLINDER et al., 2005).

Apesar dos investimentos em pesquisas relatando a contaminação por aflatoxinas em castanha-do-brasil, e do conhecimento dos fatores que interferem no desenvolvimento destas toxinas, ainda não é possível afirmar se após o beneficiamento a castanha estará ou não contaminada por aflatoxinas, o que poderá desencadear necessidades de modificações no processo de produção (ÁLVARES et al., 2012).

2.2.8 Beneficiamento e processamento

O processamento para obtenção de castanha-do-brasil sem casca e por subsequente de seus coprodutos consiste basicamente em três fases: redução da umidade, seleção e classificação.

A queda dos ouriços acontece entre os meses de novembro e fevereiro, podendo se estender até abril. Período de chuvas na região Amazônica, portanto a coleta deve ser realizada o mais breve possível para evitar o contato prolongado com o solo úmido, que proporciona a contaminação por fungos, principalmente os produtores de aflatoxinas (MULLER et al., 1995; SOUZA; CARTAXO; LEITE, 2004).

Após a coleta, os ouriços são cortados e as castanhas em casca são retiradas, lavadas e previamente secas, e então levadas para as agroindústrias beneficiadoras (OURO VERDE AMAZÔNIA, 2014).

A redução da umidade efetiva-se como importante etapa do beneficiamento da castanha-do-brasil. A secagem preliminar pode ser realizada através da exposição ao sol ou secadores artificiais. Estufas ou secadores rotativos são utilizados na secagem quando realizadas artificialmente. O método consiste em reduzir a umidade para armazenamento destas castanhas até o momento de serem processadas (COSTA, 2012). O controle da umidade inibe o crescimento de microrganismos, um limite de segurança na umidade de 13% a 15% é recomendado pelo *Codex Alimentarius* (CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION, 2006).

A fim de evitar a proliferação de organismos indesejados, as castanhas armazenadas devem estar limpas, livre de folhas, pedras, areias e outras impurezas. As castanhas limpas e secas são então armazenadas em lotes de acordo com o dia de chegada à agroindústria.

Antes da aplicação do processo térmico, as castanhas passam por uma pré-seleção manual, para a retirada de sementes visualmente danificadas ou mofadas (OURO VERDE AMAZÔNIA, 2014). Nesta etapa há uma grande perda na produção, cerca de 35% das sementes são eliminadas (MARTINS; SILVA; SILVEIRA, 2008).

O tratamento térmico pode ser realizado através de imersão em água a 100 °C por 1 a 2 minutos ou em 250 °C de 2 a 5 segundos em autoclave. A autoclavagem tem como objetivo a preparação para o descascamento, pois infla o tamanho da casca e facilita a quebra, evitando danos nas amêndoas (PACHECO; SCUSSEL, 2006).

O processo de quebra é realizado através de prensas manuais. Em seguida as amêndoas são selecionadas e classificadas de acordo com sua integridade e tamanho. A classificação pode ser realizada por equipamentos vibratórios ou manualmente (SOUZA; CARTAXO; LEITE, 2004; MARTINS; SILVA; SILVEIRA, 2008).

Após esse procedimento, as amêndoas são novamente submetidas à secagem em estufas para redução da umidade para a faixa de 4 a 10%, sob temperatura de 60 °C. Finalizada a etapa de desidratação as amêndoas são pesadas e embaladas, ou destinadas para processos de obtenção de óleo e outros subprodutos. No fluxograma de processamento também pode ser inserida a fase de

polimentos, após a secagem em estufa, para a retirada da película (PACHECO; SCUSSEL, 2006; OURO VERDE AMAZÔNIA, 2014).

Figura 4 - Fluxograma para obtenção de castanha sem casca

Fonte: Ouro Verde Amazônia (2014)

2.2.9. Qualidade na indústria processadora de castanha-do-brasil

A castanha-do-brasil é uma importante fonte nutricional, e o seu processamento necessita ser continuamente monitorado para oferecer e manter a segurança sanitária. O uso de ferramentas para garantia de qualidade vem sendo empregados para esta cultura, como por exemplo, o manual de segurança e qualidade desenvolvido pela Embrapa que define parâmetros para o uso do programa de Análise de perigo e pontos críticos de controle – APPCC nas usinas processadoras (SOUZA; CARTAXO; LEITE, 2004).

Entretanto, segundo Almeida (1998),

“A garantia da segurança alimentar, fundamentada na identificação dos perigos potenciais à saúde do consumidor, bem como nas medidas de controle das condições que geram os perigos, depende da eficácia nas inter-relações entre as diversas etapas da

cadeia agroalimentar, envolvendo desde operações de produção até a comercialização.”

Porém, como visto anteriormente, a cadeia de produção e comercialização de castanha-do-brasil é composta por muitos agentes intermediários e por se tratar de uma *commodity* extrativista nativa da floresta Amazônica, o oferecimento desta semente ao consumidor com qualidade é um grande desafio. As condições de coleta, armazenamento e transporte da castanha caracterizam-se como importantes fatores para o oferecimento de uma matéria-prima de qualidade para as processadoras e consequentemente para o consumidor.

Outro ponto relevante é a falta de tecnologia utilizada na indústria processadora, o que torna este setor vulnerável. O principal fator de a Bolívia deter cerca de 70% do mercado mundial é o uso tecnologia em todos os processos de suas indústrias beneficiadoras (COSLOVSKY, 2005). Adoções de investimentos tecnológicos maximizam o aproveitamento desta matéria-prima (MARTINS; SILVA; SILVEIRA, 2008). Contudo, apesar de concretizado através estudos, o uso da tecnologia na classificação e seleção, ainda não são utilizadas na produção de castanha-do-brasil como uma aliada na qualidade, evitando que uma castanha deteriorada ou contaminada chegue ao final do processo interferindo na produtividade e lucratividade da indústria processadora de castanha-do-brasil (ANDRADE; RODA; PESSOA, 2010; SILVA NETO et al., 2010).

Estudos nas interferências das etapas do processamento na qualidade da castanha-do-brasil possibilitarão adaptar e melhorar as práticas empregadas para a garantia de um produto inócuo, como também servirá de base para novos estudos que empreguem a tecnologia no processamento desta cultura de destaque no mercado internacional.

Referências

ABE, L.T.; LAJOLO, F.M.; GENOVESE, M.I. Comparison of phenol content and antioxidant capacity of nuts. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 1, p. 254-259, 2010.

AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO AMAZONAS. **O Amazonas é o maior produtor de Castanha-do-brasil, um dos produtos mais característicos da Região Amazônica**. Disponível em: <<http://www.ads.am.gov.br/pagina.php?cod=39>>. Acesso em: 05 maio 2012.

ALMEIDA, C.R. O sistema HACCP como instrumento para garantir a inocuidade dos alimentos. **Higiene Alimentar**, São Paulo, v. 12, n. 53, p. 12-20, 1998.

ÁLVARES, V.S.; CASTRO, I.M.; COSTA, D.A.; LIMA, A.G.; MADRUGA, A.L.S. Qualidade da castanha-do-brasil do comércio de Rio Branco, Acre. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 42, n. 2, p. 269-274, 2012.

AMAYA-FARFAN, J.; DOMENE, S.M.A.; PADOVANI, R.M. DRI: Síntese comentada das novas propostas sobre recomendações nutricionais para antioxidantes. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 71-78, 2001.

AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY. **Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society**. 6th ed. Champaign, 2009. 1278 p.

ANDRADE, R.G.; RODA, V.O.; PESSOA, J.D.C. Seleção das amêndoas de castanha-do-brasil por sua condição física utilizando visão computacional. In: WORKSHOP DE VISÃO COMPUTACIONAL, 6., 2010, Presidente Prudente. **Anais...** Presidente Prudente: UNESP, FCT, 2010. p. 31-35.

ARENA, E.; BALLISTRERI, G.; FALLICO, B. Effect of postharvest storage temperatures on the quality parameters of pistachio nuts. **Czech Journal of Food Sciences**, Slezská, v. 31, n. 5, p. 467-473, 2013.

ARRUS, K.; BLANK, G.; ABRANSON, D.; CLEAR, R.; HOLLEY, R.A. Aflatoxin production by *Aspergillus flavus* in Brazil nuts. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v. 41, n. 5, p. 513-527, 2005.

AZZIZ-BAUMGARTNER, E.; LINDBLADE, K.; GIESEKER, K.; ROGERS, H.S.; KIESZAK, S.; NJAPAU, H.; SCHLEICHER, R.; McCOY, L.F.; MIROSE, A.; DeCOCK, K.; RUBIN, C.; SLUTSKER, L. The Aflatoxin Investigative Group Case control study of an acute aflatoxicosis outbreak, Kenya, 2004. **Environmental Health Perspectives**, Davis, v.113, p.1779–1783, 2005.

BAQUIÃO, A.C.; ZORZETE, P.; REIS, T.A.; ASSUNÇÃO, E.; VERGUEIRO, S.; CORREA, B. Mycoflora and mycotoxins in field samples of Brazil nuts. **Food Control**, Guildford, v. 28, n. 1, p. 224-229, 2012.

BARRERA, G. Oxidative stress and lipid peroxidation products in cancer progression and therapy. **International Scholarly Research Network: Oncology**, Nasr City, v. 2012, 2012. 21p.

BAYMAN, P.; BAKER, J.L.; MAHONEY, N.E. *Aspergillus* on tree nuts: incidence and associations. **Mycopathologia**, Den Haag, v. 155, n. 3, p. 161–169, 2002.

BELITZ, H.D., GROSCH, W. **Food chemistry**. 2th. ed. Berlin: Springer Verlag, 1999. 992 p.

BENNET, J. W.; KLICH, M. Mycotoxins. **Clinical Microbiology Reviews**, Washington, v. 16, n. 3, p. 497-516, 2003.

BETINA, V. **Mycotoxins**: production, isolation, separation, and purification. Amsterdam: Elsevier, 1984. 528 p.

BLOMHOFF, R.; CARLSEN, M.H.; ANDERSEN, L.F.; JACOBS JR. Health benefits of nuts: potential role of antioxidants. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 96, n. 2, p. 52-60, 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Decreto nº 51.209, de 18 de Agosto de 1961. Dispõe sobre as novas especificações para a classificação e fiscalização da exportação da "Castanha do Brasil". **Diário Oficial da União**, Brasília, 21 ago. 1961. Seção 2, p. 7603.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria Nº 846, de 08 de novembro de 1976. Dispõe sobre o regulamento técnico da castanha-do-brasil, definindo o seu POC com os requisitos de identidade e qualidade, amostragem, modo de apresentação e a marcação ou rotulagem. **Diário Oficial da União**, Brasília, 19 nov. 1976. Seção 2, p. 19.

_____. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001. Dispõe sobre o Regulamento técnico sobre os padrões microbiológicos para alimentos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 04 jan. 2001. Seção 1, p. 45-53.

_____. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Consulta Pública nº 80, de 13 de dezembro de 2004. Dispõe sobre o Regulamento técnico sobre a ingestão diária recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais. **Diário Oficial da União**, Brasília, 17 dez. 2004. Seção 1, p. 97.

_____. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 270, de 22 de setembro de 2005. Dispõe sobre o regulamento técnico para óleos vegetais, gorduras vegetais e creme vegetal. **Diário Oficial da União**, Brasília, 23 set. 2005. Seção 1, p. 372-373.

_____. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Estatísticas do comércio exterior**. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/sitio/interna/index.php?area=5>>. Acesso em: 14 jan. 2014.

CALDERARI, T.O.; IAMANAKA, B.T.; FRISVAD, J.C.; PITT, J.I.; SARTORI, D.; PEREIRA, J.L.; FUNGARO, M.H.P.; TANIWAKI, M.H. The biodiversity of *Aspergillus* section *flavi* in Brazil nuts: From rainforest to consumer. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 160, n. 3, p. 267-272, 2013.

CARVALHO, R.A.; FERREIRA, C.A.P.; HOMMA, A.K.O. **Fontes de crescimento das exportações de castanha-do-brasil (1970-1988)**. Belém: EMBRAPA, CPATU, 1994. 27 p.

COUNCIL FOR AGRICULTURAL SCIENCE AND TECHNOLOGY. **Mycotoxins**: risks in plant, animal, and human systems. Ames, 2003. 109 p.

CASTRILLON, A.L.; PURCHIO, A. Aflatoxin occurrence in Brazil nuts (*Bertholletia excelsa* Humb. and Bonpl., 1808). **Acta Amazônica**, Manaus, v. 18, n. 1/2, p. 49–56, 1988.

CHUNHIENG, T.; HAFIDI, A.; PIOCHI, D.; BROCHIER, J.; MONTET, D. Detailed study of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) oil micro-compounds: phospholipids, tocopherols and sterols. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 19, n. 7, p. 1374-1380, 2008.

CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION. Code of practice for the prevention and reduction of aflatoxins contamination in tree nuts. **Codex Alimentarius Commission/Coordinated Research Project**, Amsterdam, v. 59, p. 1-9, 2006.

COSLOVSKY, S.V. **Determinantes de sucesso na indústria da castanha** : como a Bolívia desenvolveu uma indústria competitiva enquanto o Brasil ficou para trás. Rio de Janeiro: Ebape, 2005. 21p.

COSTA, D.A. **Qualidade da castanha do Brasil após o uso de secador de ar por convecção natural e armazém com ventilação**. 2012. 110 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2012.

DE SOUZA, A.H. **Castanha do Pará**: estudo botânico, químico e tecnológico. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Serviço de Informação Agrícola, 1963. 69 p. (Estudos Técnicos, 23).

DONADIO, L.C.; MÔRO, F.V.; SERVIDONE, A.A. **Frutas brasileiras**. Jaboticabal: Novos Talentos, 2002. 288 p.

DUTTON, M.F.; HEATHCOTE, J.G. Two new hydroxyaflatoxins. **Biochemical Journal**, London, v. 101, p. 21-22, 1966.

ENRÍQUEZ, G. Amazônia - Rede de Inovação de Dermocosméticos: Sub-rede de dermocosméticos na Amazônia a partir do uso sustentável de sua biodiversidade com enfoques para as cadeias produtivas da castanha-do-pará e dos óleos de andiroba e copaíba. **Parceria Estratégica**, Brasília, v. 14, n. 28, p. 51-118, 2009.

FAO. **FAOSTAT**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em: 14 jan. 2014.

FERREIRA, E.S.; SILVEIRA, C.S.; LUCIEN, V.G.; AMARAL, A.S. Caracterização físico-química da amêndoa, torta e composição dos ácidos graxos majoritários do óleo bruto da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K). **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 17, n. 2, p. 203-208, 2006.

FERREIRA, H.; PITTNER, E.; SANCHES, H.F.; MONTEIRO, M.C. Aflatoxinas: um risco a saúde humana e animal. **Ambiência: Revista do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais**, Chapadinha, v. 2, n. 1, p. 113-127, 2006.

FRANCO, B.D.G.M.; LANDGRAF, M. **Microbiologia dos alimentos**. São Paulo: Atheneu, 2008. 182 p.

FRANKEL, E.N. Lipid oxidation. **Progress in Lipid Research**, Oxford, v. 19, n. 1/2, p. 1-22, 1980.

_____. Review: recent advances in lipid oxidation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 54, n. 4, p. 495-511, 1991.

_____. Antioxidants in lipid foods and their impact on food quality. **Food Chemistry**, London, v. 57, n. 1, p. 51-55, 1996.

FREIRE, F.C.O.; VIEIRA, I.G.P.; GUEDES, M.I.F.; MENDES, F.N.P. **Micotoxinas: importância na alimentação e na saúde humana e animal**. Fortaleza: Embrapa, Agroindústria Tropical, 2007. 49 p.

FREITAS-SILVA, O.; VENÂNCIO, A. Brazil nuts: benefits and risks associated with contamination by fungi and mycotoxins. **Food Research International**, Barking, v. 44, n. 5, p. 1434-1440, 2011.

FUNASAKI, M.; MENEZES, I.S.; BARROSO, H.S.; ZANOTTO, S.P.; CARIOCA, C.R.F. Tocopherol profile of Brazil nut oil from different geographic areas of the Amazon region. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 43, n. 4, p. 505-510, 2013.

GARCÍA-PASCUAL, P.; MATEOS, M.; CARBONELL, V.; SALAZAR, D.M. Influence of storage conditions on the quality of shelled and roasted almonds. **Biosystems Engineering**, London, v. 84, n. 2, p. 201-209, 2003.

GIMENO, E.; CATELLOTE, A.I.; LAMUELA-RAVENÓS, R.M.; TORRE, M.C.; LÓPEZ-SABATER, M.C. Rapid determination of vitamin E in vegetable oils by reversed-phase high-performance liquid chromatography. **Journal of Chromatography. A**, Amsterdam, v. 881, n. 1/2, p. 251-254, 2000.

GONZÁLEZ, C.A.; SALAS-SALVADÓ, J. The potential of nuts in the prevention of cancer. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 96, n. 2, p. 87-94, 2006.

GOURAMA, H.; BULLERMAN, L. B. *Aspergillus flavus* and *Aspergillus parasiticus*: Aflatoxigenic fungi of concern in foods and feeds: a review. **Journal of Food Protection**, Des Moines, v. 58, n. 12, p. 1395-1404, 1995.

HALLIWELL, B.; MURCIA, M.A.; CHIRICO, S.; ARUOMA, O.I. Critical Reviews: Free radicals and antioxidants in food and in vivo: what they do and how they work. **Food Science and Nutrition**, London, v. 35, n. 1/2, p. 7-20, 1995.

HAMILTON, R.J.; KALU, C.; PRISK, E.; PADLEY, F.B.; PIERCE, H. Chemistry of free radicals in lipids. **Food Chemistry**, London, v. 60, n. 2, p. 193-199, 1997.

HAYES, A.W. Biological activities of mycotoxins. **Mycopathologia**, Den Haag, v. 65, n. 1/3, p. 29-41, 1978.

HOMMA, A.K.O. Cemitério das castanheiras. **Ciência Hoje**, São Paulo, v. 34, n. 202, p. 60-63, 2004.

HORNERO-MÉNDEZ, D.; PÉREZ-GÁLVEZ, A.; MÍNGUEZ-MOSQUERA, M.I. A rapid spectrophotometric method for the determination of peroxide value in food lipids with high carotenoid content. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Urbana, v. 78, n. 11, p. 1151-1155, 2001.

INTERNATIONAL COMMISSION ON MICROBIOLOGICAL SPECIFICATIONS FOR FOODS. **Microrganismos de los alimentos**: características de los patógenos microbianos. Zaragoza: Acribia, 1996. 612 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema IBGE de recuperação automática**: banco de dados agregados. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=289&z=p&o=27&i=P>>. Acesso em: 14 jan. 2014.

ITO, Y.; PETERSON, S.W.; WICKLOW, D.T.; GOTO, T. *Aspergillus pseudotamarii*, a new aflatoxin producing species in *Aspergillus section flavi*. **Mycological Research**, Cambridge, v. 105, p. 233-239, 2001.

JAY, J.M. Doenças de origem alimentar: micotoxinas. In: _____. **Microbiologia de alimentos**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005. p. 633-646.

KAINER, K.A.; WADT, L.H.O.; STAUDHAMMER, C.L. Explaining variation in Brazil nut fruit production. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 250, n. 3, p. 244-255, 2007.

KHEIRALLA, Z.H.; HASSANIN, N.I.; AMRA, H. Effect of incubation-time, temperature and substrate on growth and aflatoxin production. **International Biodeterioration and Biodegradation**, Barking, v. 30, n. 1, p. 17-27, 1992.

KRIS-ETHERTON, P.M.; YU-POTH, S.; SABATÉ, J.; RATCLIFFE, H.E.; ZHAO, G., ETHERTON, T.D. Nuts and their bioactive constituents: effects on serum lipids and other factors that affect disease risk. **The American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 70, n. 3, p. 504S-511S, 1999.

KROMHOUT, D. Epidemiology of cardiovascular diseases in Europe. **Public Health Nutrition**, Cambridge, v. 4, n. 2B, p. 441-457, 2001.

KUIPER-GOODMAN, T. Approaches to the risk analysis of mycotoxins in the food supply. **Food Nutrition and Agriculture**, Geneva, n. 23, p. 10-16, 1999.

KURTZAM, C.P.; HORN, B.W.; HESSELTINE, C.W. *Aspergillus nomius*, a new aflatoxin-producing species related to *Aspergillus flavus* and *Aspergillus tamari*. **Antonie van Leeuwenhoek**, Amsterdam, v. 53, n.3, p. 147-158, 1987.

LANDERS, K.E.; DAVIS, N.D.; DIENER, U.L. Influence of atmospheric gases on aflatoxin production by *Aspergillus flavus* in peanuts. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 57, n. 10, p. 1086-1090, 1967.

LEE, N.A.; WANG, S.; ALLAN, R.D.; KENNEDY, I.R. A rapid aflatoxin B1 ELISA: development and validation with reduced matrix effects for peanuts, corn, pistachio, and soybeans. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 52, n. 10, p. 2746-2755, 2004.

LINDLEY, M.G. The impact of food processing on antioxidants in vegetable oils, fruits and vegetables. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 9, n. 8/9, p. 336-340, 1998.

LÓPEZ-URIARTE, P.; BULLÓ, M.; CASAS-AGUSTENCH, P.; BABIO, N.; SALAS-SALVADÓ, J. Nuts and oxidation: a systematic review. **Nutrition Reviews**, New York, v. 67, n. 9, p. 497-508, 2009.

LONGHDE, H.; VIES, R.O.; VAN PELT, J.G. Milk of mammals fed an aflatoxin-containing diet. **Nature**, London, v. 202, p. 466-467, 1964.

MARKLINDER, I.; LINDBLAD, M.; GIDLUND, A.; OLSEN, M. Consumers' ability to discriminate aflatoxin contaminated Brazil nuts. **Food Additives & Contaminants**, Abingdon, v. 22, n. 1, p. 56-64, 2005.

MARTINS, L.; SILVA, Z.P.G.; SILVEIRA, B.C. Produção e comercialização da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*, H.B.K) no Estado do Acre – Brasil, 1998-2006. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 45., 2008, Rio Branco. **Anais...** Rio Branco: UFAC, 2008. 14 p.

MARTINS JUNIOR, P.O.; CORREIA, A.F.; KANZAKI, L.I.B. Contaminantes microbianos da castanha-do-pará. In: KANZAKI, L.I.B. (Org.). **Desenvolvimento sustentável em áreas de extrativismo da castanha-do-brasil no sul do Amapá**. Belém: Banco da Amazônia, 2009. p. 146-179.

MARTINS JUNIOR, P.O.; SOUSA, V.Y.K.; CORREIA, A.F.; MATA, E.C.G.; KANZAKI, L.I.B. Fontes de contaminação microbiana da castanha-do-pará. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, Belém, v. 6, n. 12, p. 21-30, 2011.

MEYER, V. Genetic engineering of filamentous fungi – Progress, obstacles and future trends. **Biotechnology Advances**, Waterloo, v. 26, n. 1, p. 177-185, 2008.

MIN, D.B.; BRADLEY, G.D. Fats and oils: flavors. In: HUI, Y.H. (Ed.). **Encyclopedia of food science and technology**. New York: Wiley, 1992. p. 823-832.

MORETTO, E.; FETT, R. **Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos**. São Paulo: Livraria Varela, 1998, 150 p.

MÜLLER, C.H.; FIGUEIREDO, F.J.C.; KATO, A.K.; CARVALHO, J.E.U. de; STEIN, R.L.B.; SILVA, A.B. **A cultura da castanha-do-brasil**. Belém: EMBRAPA, CPATU, 1995. 65 p.

MUNINBAZI, C.; BULLERMAN, L. Molds and mycotoxins in foods from Burundi. **Journal of Food Protection**, Des Moines, v. 59, n. 8, p. 869-875, 1996.

SILVA NETO, R.M.; LEITE, L.A.S.; PESSOA, P.F.P.; VERAS, L.G.C. Equipamento e processo para seleção da matéria-prima para as médias e pequenas fábricas de processamento de castanha do caju. **Revista ACTA Tecnológica**, São Luís, v. 5, n.1, p. 114-123, 2010.

NERO, L.A.; BELOTI, V.; BARROS, M.A.F. Métodos rápidos e automatizados para enumeração de microrganismos indicadores em leite: Utilização no Brasil-Semina. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 21, n. 1, p. 115-126, 2000.

OSAWA, C.C.; GONÇALVES, L.A.G. Titulação potenciométrica aplicada na determinação de ácidos graxos livres de óleos e gorduras comestíveis. **Química Nova**, São Paulo, v.29, n. 3, p. 593-599, 2006.

OURO VERDE AMAZÔNIA. **Caminho da castanha**. Disponível em: <<http://ouroverdeamazonia.com.br/curiosidades.php>>. Acesso em: 23 fev. 2014.

PACHECO, A.M.; SCUSSEL, V.M. **Castanha-do-brasil**: da floresta tropical ao consumidor. Florianópolis: Editograf, 2006. 176 p.

PECHNIK, E.; BORGES, P.; SIQUEIRA, R. Estudo sobre a castanha-do-pará. **Arquivos Brasileiros de Nutrição**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 4-7, 1950.

PILDAIN, M.B.; FRISVAD, J.C.; VAAMONDE, G.; CABRAL, D.; VARGA, J.; SAMSON, R.A. Two novel aflatoxin-producing *Aspergillus* species from Argentinean peanuts. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, Reading, v. 58, n. 3, p. 725-735, 2008.

PITT, J.I.; MISCAMBLE, B.F. Water relations of *Aspergillus flavus* and closely related species. **Journal Food Protection**, Des Moines, v. 58, n. 1, p. 86-90, 1994.

REDDY, B.N.; RAGHAVENDER, C.R. Outbreaks of aflatoxicosis in India. **African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development**, Nairobo, v. 7, n. 5, p. 790-793, 2007.

REGITANO-D'ARCE, M.A.B. Deterioração de lipídeos – ranço. In: OETTERER, M.; REGINATO-D'ARCE, M.A.B.; SPOTO, M.H.F. **Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos**. Barueri: Manole, 2006. 612 p.

RIBEIRO, M.A.A.; REGINATO-D'ARCE, M.A.B.; LIMA, U.A.; BAGGIO, C.E. Armazenamento da castanha do Pará com e sem casca: Efeito da temperatura na resistência ao ranço. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 50, n. 3, p. 343-348, 1993.

RUSTOM, I.Y.S. Aflatoxin in food and feed: occurrence, legislation and inactivation by physical methods. **Food Chemistry**, London, v. 59, n. 1, p. 57-67, 1997.

SAMSON, R.A.; HONG, S.B.; FRISVAD, J.C. Old and new concepts of species differentiation in *Aspergillus*. **Medical Mycology**, Oxford, v. 44, n. 1, p. 133-148, 2006.

SARGEANT, K.; SHERIDAN, A.; O'KELLY, J.; CARNAGHAN, R.B.A. Toxicity associated with certain samples of groundnuts. **Nature**, London, v. 192, n. 4807, p. 1095-1097, 1961.

SATTLER, S.E.; GILLILAND, L.U.; MAGALLANES-LUNDBACK, M.; POLLARD, M.; DELLAPENNA, D. Vitamin E is essential for seed longevity and for preventing lipid peroxidation during germination. **The Plant Cell**, Rockville, v. 16, n. 6, p. 1419–1432, 2004.

SCHOENTAL, R. Aflatoxins. **Annual Review of Pharmacology and Toxicology**, Palo Alto, v. 7, n. 1, p. 343-353, 1967.

SCOTT, R.E. Differentiation, differentiation gene therapy and cancer. **Pharmacology & Therapeutics**, Oxford, v. 73, n. 1, p. 51-65, 1997.

SCUSSEL, M.V. **Micotoxinas em alimentos**. Florianópolis: Insular, 1998. 144 p.

SHAKERARDEKANI, A.; KARIM, R.; GHAZALI, H.M.; CHIN, N.L. Textural, rheological and sensory properties and oxidative stability of nut spreads: a review. **International Journal of Molecular Sciences**, Basel, v. 14, n. 2, p. 4223-4241, 2013.

SHANTHA, N.C.; DECKER, E.A. Rapid, sensitive, iron-based spectrophotometric methods for determination of peroxide values of food lipids. **Jornal of AOAC International**, Gaithersburg, v. 77, n. 2, p. 421-424, 1994.

SILVA, F.A.M.; BORGES, M.F.M.; FERREIRA, M.A. Métodos para avaliação do grau de oxidação lipídica e da capacidade antioxidante. **Química Nova**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 94-103, 1999.

SILVA, N.; JUNQUEIRA, V.C.A.; SILVEIRA, N.F.A.; TANIWAKI, M.H.; SANTOS, R.F.S.; GOMES, R.A.R. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos e água**. 4. ed. São Paulo: Varela, 2010. 624 p.

SILVA, R.F.; ASCHERI, J.L.R.; SOUZA, J.M.L. Influência do processo de beneficiamento na qualidade de amêndoas de castanha-do-brasil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 445-450, 2010.

SOUZA, I.F. **Cadeia produtiva de castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) no Estado de Mato Grosso**. 2006. 141 p. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2006.

SOUZA, M.L. **Processamento de cereais matinais extrusados de castanha-do-brasil com mandioca**. 2013. 191 p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

SOUZA, M.L.; MENEZES, H.C. Processamento de amêndoa e torta de castanha-do-brasil e farinha de mandioca: parâmetros de qualidade. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 1, p. 120-128, 2004.

_____. Extrusão de misturas de castanha do Brasil com mandioca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 2, p. 1-11, 2008.

SOUZA, M.L.; CARTAXO, C.B.C.; LEITE, F.M.N. **Manual de segurança e qualidade para a cultura da castanha-do-brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 61 p.

SWEENEY, M.J.; DOBSON, A.D.W. Mycotoxin production by *Aspergillus*, species. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 43, n. 3, p. 141-158, 1998.

TANIWAKI, M.H.; SILVA, N. **Fungos em alimentos: ocorrência e detecção**. Campinas: ITAL, 2011. 82 p.

WĄSOWICZ, E.; GRAMZA, A.; HEŚ, M.; JELEŃ, H.H.; KORCZAK, J.; MATECKA, M.; MILDNER-SZKUDLARZ, S.; RUDZIŃKA, M.; SAMOTYJA, U.; ZAWIRSKA-WOJTASIAK, R. Oxidation of lipids in food. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**, Olsztyn, v. 13/54, n. 1, p. 87-100, 2004.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Environmental health criteria 58: selenium**. Geneva: International Program on Chemical Safety, 1986. 190 p.

WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION. Disponível em: <www.wipo.int/portal/index.html.en>. Acesso em: 05 maio 2012.

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

YARD, E.E.; DANIEL, J.H.; LEWIS, L.S.; RYBAK, M.E.; PALIAKOV, E.M.; KIM, A.A.; MONTGOMERY, J.M.; BUNNELL, R.; ABUDO, M.U.; AKHWALE, W.; BREIMAN, R.F.; SHARIF, S.K. Human aflatoxin exposure in Kenya, 2007: a cross-sectional study. **Food additives & Contaminants. Part A: Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment**, London, v. 30, n. 7, p. 1322–1331, 2013.

ZÁCARI, C.Z. **Estabilidade oxidativa de óleo extra virgem de castanha-do-Pará com ervas aromáticas antioxidantes**. 2008. 111 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

ZACHEO, G.; CAPPELLO, A.R.; PERRONE, L.M. Analysis of factors influencing lipid oxidation of almond seeds during accelerated ageing. **Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie**, London, v. 31, n. 1, p. 6-9, 1998.

ZAJDENWERG, C.; BRANCO, G.F.; ALAMED, J.; DECKER, E.A.; CASTRO, I.A. Correlation between sensory and chemical markers in the evaluation of Brazil nut oxidative shelf-life. **European Food Research and Technology**, Berlin, v. 233, n. 1, p. 109-116, 2011.

3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE CASTANHAS-DO-BRASIL (*Bertholletia excelsa*, H.B.K.) E ASPECTOS DE QUALIDADE DA FRAÇÃO LIPÍDICA EM DIFERENTES ETAPAS DO PROCESSAMENTO

Resumo

A castanheira fornece diversos produtos e subprodutos, entretanto as amêndoas possuem maior valor econômico, por possuir alto valor nutritivo. A qualidade destes produtos é consequência das práticas de manejo, armazenamento e processamento destas oleaginosas, como também das condições ambientais da floresta amazônica. Por ser constituída por cerca de 60-70% de lipídeos, com ácidos graxos predominantemente insaturados (ácido oleico e linoleico), a castanha-do-brasil pode ser muito instável frente às reações de oxidação e formação de ranço, que representa importante causa de perdas na qualidade nutricional e sensorial. O controle da reação de oxidação é um desafio importante para as indústrias processadoras de castanha-do-brasil porque a exposição das amêndoas à luz e umidade, bem como as temperaturas empregadas na secagem, são precursores destas reações. Os produtores de castanha, além do controle da estabilidade lipídica, devem atentar-se à contaminação microbiana e oferecer aos consumidores castanhas dentro dos padrões sanitários exigidos pela legislação. Este estudo objetivou avaliar a qualidade nutricional e microbiológica de amostras de castanha-do-brasil, bem como mensurar o estágio e a estabilidade oxidativa da fração lipídica, ao longo das etapas de processamento. A amêndoa desidratada, produto final da cadeia produtiva, caracterizou-se por conter $67,03 \pm 3,35$ de lipídeos, $10,49 \pm 0,52$ de proteínas e $13,97 \pm 4,11$ de carboidratos. Todas as amostras analisadas estavam de acordo com os limites estabelecidos pela legislação vigente para os quesitos de contaminação microbiológica e também para os índices de acidez e peróxido da fração lipídica. O processamento mostrou-se eficiente em fornecer castanhas-do-brasil de qualidade.

Palavras-chave: Qualidade; Processamento; Oxidação lipídica; Composição centesimal

Abstract

The Brazil nut tree provides various products and by-products, however kernel have higher economic value due to its high nutritional value. The quality of these products is a result of the cropping practices, storage and processing, as well as the environmental conditions of the Amazon rainforest. Brazil nuts presents approximately 60-70% lipids, mainly unsaturated (oleic and linoleic acids), and can be very unstable to oxidation reaction and consequently rancidity, which represent an important cause of losses in nutritional and sensory quality. The control of the oxidation reaction is an important challenging of the Brazil nut processing industries because of exposure the kernel of light and moisture, as well as the temperatures employed in drying. The Brazil nut producers, beyond the control of lipid stability, should pay attention to the contamination of the microorganism and provide consumers nuts within the sanitary standards required by legislation. Based on these questions this study aimed to evaluate the nutritional and microbiological quality of Brazil nut samples collected along industrial processing, and measure the oxidative

stage and stability of the lipid fraction. The dehydrated kernel sample was characterized by containing 67.03 ± 3.35 lipids, 10.49 ± 0.52 proteins, and 13.97 ± 4.11 carbohydrates. All samples analyzed were in accordance with the current legislation for the microbiological contamination and also acidity and peroxide value of lipid fraction. The process proved to be efficient in providing quality Brazil nuts.

Keywords: Quality; Processing; Lipid oxidation; Nutritional composition

3.1 Introdução

Oriunda da floresta Amazônica e rica em lipídeos, a semente do fruto da castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*, H.B.K.) é valorizada internacionalmente por constituir importante fonte de nutrientes e possuir um sabor exótico muito apreciado. A sua exploração comercial ocorre desde meados de 1600, e atualmente a maior parte da produção está concentrada no Brasil, Bolívia e Peru (DE SOUZA, 1963; HOMMA, 2004; PACHECO; SCUSSEL, 2006; KAINER; WADT; STAUDHAMMER, 2007). Em 2012 a produção extrativista brasileira da castanha-do-brasil foi de 38.805 toneladas. Deste montante, o estado do Acre produziu 36,3% seguido por Amazonas (27,0%), Pará (26,9%), Rondônia (4,4%), Mato Grosso (4,0%), Amapá (1,1%) e Roraima (0,3%). Neste mesmo ano as exportações foram de 11.118 toneladas, para os EUA, Inglaterra, França, Alemanha e Itália. Além da Bolívia que compra castanha brasileira com casca, beneficia e exporta com um maior valor agregado (IBGE, 2014).

O grande interesse por esta matéria-prima é explicado pelo seu amplo uso na indústria alimentícia para a produção de farinha desengordurada, panificação, confeitarias, mingaus, bolos, formulados, biscoitos, doces, suplementos protéicos, extrusados, concentrados, leites desengordurados, bebidas dietéticas, sorvetes, além de serem consumidas *in natura*, salgadas ou cristalizadas (MARTINS et al., 2008). O óleo obtido da castanha-do-brasil possui reconhecido uso nas indústrias de cosméticos e farmacêutica, e na última década ganhou destaque no uso culinário (PACHECO; SCUSSEL, 2006).

Entretanto, as condições edafoclimáticas da floresta Amazônica favorecem a proliferação e contaminação microbiológica, como também interferem negativamente nas ações para o beneficiamento com qualidade da castanha-do-brasil, uma vez que a queda dos ouriços acontece entre os meses de novembro e fevereiro, podendo se

estender até abril, período de chuvas na região Amazônica. (MULLER et al., 1995; SOUZA; CARTAXO; LEITE, 2004; ÁLVARES et al., 2012). A umidade e temperatura elevadas da região também propiciam riscos à conservação desta semente e merece atenção frente às reações de degradação por oxidação, por esta ser constituída por cerca de 60 - 70% de lipídeos. As reações de oxidação lipídica ocasionam perdas na qualidade sensorial e nutricional. Portanto, o controle da oxidação é um desafio importante para os processadores de castanha-do-brasil, uma vez que o beneficiamento e o descascamento expõem as amêndoas à luz e umidade (ZAJDENWERG et al., 2011).

Desta forma, objetivou-se caracterizar a castanha-do-brasil e seu respectivo óleo, e avaliar sua qualidade ao longo do processamento através de análises físico-químicas e microbiológicas. Pois o conhecimento das interferências nas etapas de processamento será um diferencial para a modernização desta cadeia e favorecerá uma maior eficiência e competitividade no oferecimento ao mercado consumidor de um produto com melhor qualidade.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Processamento e coleta das amostras

As amostras de castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*, H.B.K.) foram coletadas em uma agroindústria processadora localizada no estado do Mato Grosso, Brasil, no mês de maio de 2013. A partir do beneficiamento adotado pela empresa, os passos para a obtenção de amêndoa desidratada foram os seguintes.

As castanhas-do-brasil foram recebidas do fornecedor, previamente lavadas e secas. E então, separadas por lotes e armazenadas até o momento de utilização da agroindústria. Na etapa de secagem, as castanhas foram colocadas em secador rotativo, onde permaneceram em temperatura média de 70 °C por aproximadamente de 12 horas. A partir deste ponto, passaram por uma mesa de seleção visual, onde os funcionários retiraram castanhas com aparência ruim ou duvidosa (quebradas, mofadas, danificadas por insetos, etc.).

Em seguida realizou-se o banho de vapor em autoclave, para facilitar a retirada da casca em mesa de quebra. As amêndoas ruins foram descartadas e as amêndoas selecionadas foram encaminhadas para a classificação por tamanho e qualidade (inteiras ou quebradas), onde os funcionários realizaram uma seleção

mais criteriosa, descartando as amêndoas com pontos negros e oxidadas. Após este processo as amêndoas classificadas seguiram para o forno de desidratação, onde ficaram sob temperatura de 60 °C e ventilação controlada por 8 horas até a umidade desejada de 3%.

A partir de um mesmo lote inicial de 2 toneladas, as amostras de castanha-do-brasil foram coletadas em 3 etapas do processamento. O processamento e as coletas ocorreram de acordo com a Figura 5.

Figura 5 – Processamento para obtenção de amêndoa desidratada e coleta das amostras

¹Castanha-do-brasil lavada e previamente seca pelo fornecedor; ²Secador rotativo; ³Seleção visual; ⁴Banho de vapor; ⁵Retirada da casca; ⁶Seleção visual mais criteriosa e classificação por tamanho; ⁷Desidratação da amêndoa até umidade de 3%

Para avaliação da qualidade foram realizadas oito amostragens de 1 quilograma, em cada etapa escolhida do beneficiamento. No início do processamento foram obtidas as amostras de castanha *in natura* (ponto A), matéria-prima para a obtenção da amêndoa; a castanha *dry* (seca e com casca), retirada após o processo de secagem e seleção (ponto B); e amêndoa desidratada (ponto C). As amostras foram então denominadas de acordo com a tabela a seguir (Tabela 1).

Tabela 1 - Denominação das amostras de 1 kg

	Amostragem
Castanha-do-brasil <i>in natura</i>	A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7 e A8
Castanha-do-brasil <i>dry</i>	B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7 e B8
Amêndoa desidratada	C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7 e C8

As amostras foram encaminhadas para o Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, em Piracicaba, e armazenadas à -18 °C até o momento de realização das análises microbiológicas e físico-químicas. Todas as amostras foram analisadas sem casca.

Para as análises de caracterização de qualidade da fração lipídica da castanha-do-brasil procedeu-se a extração do óleo, 600 g de cada amostra foram submetidas à prensagem a frio, em prensa hidráulica modelo *Carver Laboratory press, Made by Fred S. Carver INC., Hydraulic Equipment Summit, New Jersey, U.S.A.*

3.2.2 Análises de caracterização das amostras

3.2.2.1 Análise centesimal

As análises químicas de teor de umidade, proteína bruta, extrato etéreo e cinzas foram realizadas de acordo com a metodologia indicada pela AOAC (2005) e os resultados expressos em porcentagem. Os valores de carboidratos totais foram obtidos por diferença (BRASIL, 2003). Procederam-se as análises em triplicata nas amostras de castanha-do-brasil e da torta obtida após a prensagem a frio.

Umidade

Para obtenção da porcentagem de umidade, 2 g de amostra foram pesadas em placas de Petri e colocadas à 105 °C por 24 horas. Pesagens periódicas foram realizadas até a estabilização das placas com amostra. Método nº 985.14 da AOAC (2005).

Cálculo:

$$\text{Umidade \%} = 100 - \frac{(A \times 100)}{B}$$

A = perda de água = peso (g) da amostra úmida – peso (g) da amostra seca;

B = massa (g) da amostra.

Extrato etéreo

A determinação da fração lipídica foi realizada de acordo com o método de Soxhlet, utilizando-se o solvente hexano. Os cartuchos contendo 3 g de amostra foram submetidos a um sistema de refluxo com o solvente para a extração do óleo

por um período de 4 horas. O resultado foi obtido por diferença na pesagem do balão. Método nº 948.22 da AOAC (2005).

Cálculo:

$$\% \text{ Lipídeos} = \frac{(A - B) \times 100}{C}$$

A = massa (g) do balão + óleo;

B = massa (g) do balão;

C = massa (g) da amostra.

Proteína bruta

A análise de proteínas foi realizada pelo método de micro-Kjeldahl, que quantifica o nitrogênio total da amostra, 0,1 g de amostra foram colocadas em bloco de aquecimento contendo 5 mL de mistura digestora. Em seguida, procedeu-se a destilação e titulação. Método nº 950.48 da AOAC (2005). Para a conversão de nitrogênio total para proteína utilizou-se o fator específico para castanha-do-brasil de 5,46 (PREGNOLATTO; PREGNOLATTO, 1985).

Cálculo:

$$\% \text{ N} = \frac{(a-b) \times N \times 14 \times 100}{C}$$

$$\% \text{ Proteína} = \% \text{ N} \times 5,46$$

a = volume (mL) de ácido sulfúrico utilizado na titulação;

b = volume (mL) de ácido sulfúrico utilizado na titulação do branco;

N = normalidade do ácido sulfúrico;

C = massa (mg) da amostra.

Cinzas

A quantidade de cinzas foi determinada pela incineração de 1 g de amostra, primeiro em incinerador e depois em mufla a 550 °C, até a coloração da amostra tornar-se branca ou levemente acinzentada. O resultado foi obtido por diferença na pesagem do cadinho. Método nº 923.03 da AOAC (2005).

Cálculo:

$$\% \text{ Cinzas} = \frac{C \times 100}{A}$$

C = diferença na massa após a incineração;

A = massa (g) da amostra.

Carboidratos totais

O teor de carboidratos totais foi obtido por diferença em 100% (BRASIL, 2003).

Cálculo:

$$100 - (\% \text{ umidade} + \% \text{ proteínas} + \% \text{ lipídeos} + \% \text{ cinzas})$$

Cálculo do valor energético total

Para a determinação do valor energético em kcal aplicou-se os fatores de Atwater de acordo com a Resolução RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003. Para lipídeos, proteínas e carboidratos os valores são respectivamente 9, 4 e 4 kcal/g de amostra (BRASIL, 2003).

3.2.2.2 Composição em ácidos graxos

Aproximadamente 1 mL de óleo extraído de cada uma das 8 amostras por ponto do processamento foram coletados e adicionados em um mesmo frasco para constituir uma única amostra por ponto. A análise foi realizada em duplicata. Segundo a metodologia de Hartman e Lago (1973) e AOCS (2009), em 0,05 g de óleo foram adicionados 2 mL de solução metanólica de NaOH 0,5 N. Após aquecimento a 100 °C por 5 min, adicionou-se 2,5 mL do reagente de esterificação e aqueceu-se novamente a 100 °C por 5 min. Foram adicionados 5 mL de hexano e procedeu-se agitação vigorosa em vortex. Acrescentou-se 5 mL de solução salina saturada, verificando a formação de duas fases. A fase superior com os estéres metílicos foi recolhida e transferida para outro tubo contendo 5 mL de água destilada. Novamente, pipetou-se a fase superior e adicionou-se 0,1 g de sulfato de sódio anidro. Os ésteres metílicos foram então pipetados e injetados em cromatógrafo gasoso equipado com detector por ionização em chama FID 2010, Shimadzu Corp., Japão, modelo GC-2010 Plus. As condições cromatográficas foram: temperatura da coluna 180 °C (isotérmica); gás de arraste, hidrogênio em uma vazão de 4 mL/minuto; vazão total: 47 mL/minuto; vazão ar: 400 mL/minuto; vazão hidrogênio: 40 mL/minuto; pressão 33,1 Kpa e temperatura do detector e injetor de 250 °C. A identificação dos ácidos graxos presentes nas amostras foi realizada por comparação ao padrão F.A.M.E. Mix C8-C22, marca Supelco, e a composição quantitativa de cada ácido graxo foi expressa em porcentagem.

3.2.3 Análises microbiológicas

3.2.3.1 *Salmonella*

Para o enriquecimento primário, trituraram-se 25 g de cada amostra de castanha-do-brasil com 225 mL de água peptonada tamponada, e incubou-se cada amostra a 36 °C por 18 - 22 h. Para o enriquecimento secundário, foi transferido 1 mL da suspensão para um tubo contendo 9 mL de Caldo Tetracionato e incubado a 36 °C por 16 – 22 h. Procedeu-se o pós-enriquecimento transferindo-se 1 mL do inóculo do Caldo Tetracionato para 10 mL de Caldo M e incubação a 36 °C por 6 – 8 h. 1 mL do inóculo em Caldo M foi transferido para tubo estéril e aquecido em banho-maria a 100 °C por 15 min.

Após as etapas de enriquecimento e tratamento térmico, cada amostra foi analisada por meio do kit Tecra™ Unique *Salmonella* aprovado pela AOAC (2005), seguindo o manual de instrução da 3M™, U.S.A.. Os poços positivos apresentaram coloração esverdeada. Os resultados foram expressos em presença/ausência de *Salmonella* em 25 g de amostra.

3.2.3.2. Coliformes totais e *E. coli*

A determinação de coliformes totais e *E. coli*, foi realizada utilizando-se o kit SimPlate®, aprovado pela AOAC (2005), seguindo o manual da BioControl Systems, U.S.A.. Trituraram-se 10 g de cada amostra com 90 mL de água salina peptonada. Procedeu-se as diluições seriadas de fator 10 da suspensão obtida em água salina peptonada até a quarta diluição.

No centro de cada placa, com fossos especiais, foram adicionados 1,0 mL das diluições e 9,0 mL de meio SimPlate® (BioControl Systems, U.S.A). As placas foram agitadas suavemente para distribuir o meio e a diluições nos fossos, e então mantidas a 35 °C por 24 – 28 h. A análise foi realizada em duplicata. Os fossos que mudaram de cor, de amarelo para roxo, considerados positivos para Coliformes totais, foram contabilizados e os resultados expressos em NMP (número mais provável), através de conversão por meio de uma tabela específica.

Para o resultado de Coliformes em termos de *E. coli*, os fossos que apresentaram fluorescência sob luz UV, foram considerados positivos e expressos em NMP após a conversão utilizando a tabela fornecida no kit.

3.2.4 Análises de qualidade da fração lipídica

3.2.4.1 Índice de acidez

O índice de acidez foi determinado de acordo com o método Ca5a-40 da AOCS (2009), e consiste na quantidade em mg de KOH necessária para neutralizar 1 g da amostra de óleo. O resultado para ácidos graxos livres foi expresso em índice de acidez e em porcentagem de ácido oleico.

Cálculo:

$$\text{Índice de acidez em mg de KOH/g} = \frac{V \times 56,1 \times N}{M}$$

$$\% \text{ AGL em ácido oleico} = \frac{V \times 28,2 \times N}{M}$$

V = volume de NaOH gasto na titulação;

N = normalidade da solução de NaOH;

M = massa (g) da amostra.

3.2.4.2 Índice de peróxido

A concentração de hidroperóxidos foi determinada pelo método espectrofotométrico (BRANCO; CASTRO, 2011). 0,3 g de óleo de castanha foram pesados e adicionados em uma solução de isoctano/2-propanol (3:1, v/v). Após agitação, 20 µL da mistura foram adicionadas a 2,98 mL de uma solução de metanol/1-butanol (2:1, v/v). Antes de um repouso de 20 minutos em local escuro e temperatura ambiente, foi adicionada a solução de tiocianato ferroso. Após esse período, foi feita a leitura da absorbância em espectrofotômetro UV-1203 (Shimadzu, Corp., Japão) a 510 nm. Procedeu-se a análise em duplicata.

A concentração de hidroperóxidos foi determinada a partir da construção de uma curva padrão com concentrações conhecidas de hidroperóxido de cumeno (Figura 6) e os resultados foram expressos em mmol/kg. Para efeito de comparação com outros trabalhos os resultados também foram comunicados em meq/kg, por meio de conversão (1 meq = 1 mmol/valência de Fe³⁺).

Figura 6 - Curva padrão para determinação da concentração de hidroperóxido

3.2.4.3 Absortividade em luz ultravioleta

A absortividade no comprimento de onda 232 nm foi determinada de acordo com o método Ch 5-91 da AOCS (2009). Os resultados foram expressos em $E^{1\%}_{1cm}$.

Cálculo:

$$E^{1\%}_{1cm} = \frac{A}{C}$$

A = absorbância no λ de 232 nm

C = concentração da solução (g/100 mL)

3.2.4.4 Estabilidade oxidativa

A estabilidade oxidativa foi avaliada pelo método Cd12b-92 proposto pela AOCS (2009) no equipamento Rancimat 743 (Metrohm AG, CH-9100 Herisau Suíça). 5 g de amostra foram submetidas à oxidação acelerada, em duplicata, à temperatura de 110°C e taxa de fluxo de ar seco de 9 L/h. O resultado foi expresso através do software StabNet (Metrohm AG, Suíça), que determina o período de indução.

3.2.5 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos ao software Statistical Analysis System – SAS 9.3 (SAS Institute Inc., U.S.A.), aplicando-se a análise de variância (ANOVA). O Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade foi aplicado para a comparação das médias (SAS INSTITUTE, 2000-2004).

3.3 Resultados e Discussão

3.3.1 Composição centesimal

A composição dos alimentos é considerada uma importante fonte de informações para o aproveitamento e utilização destes alimentos, bem como para avaliar os métodos de conservação aplicáveis e também o estágio de deterioração em que este se encontra. A castanha-do-brasil é reconhecida por ser uma semente oleaginosa, porém suas proteínas de alto valor biológico também são valorizadas. Após a extração do óleo por prensagem a frio, a torta desengordurada efetiva-se como importante fonte de proteínas podendo ser utilizada como base para a produção de pães e bolos (PACHECO; SCUSSEL, 2006).

Os lipídeos representam a maior fração dos constituintes da castanha-do-brasil. As porcentagens encontradas neste estudo nas castanhas *in natura*, castanha *dry* e na amêndoa desidratada variaram de 63,3 a 67,0%, como apresentado na Tabela 2. Estando de acordo com o encontrado por Santos, Corrêa e Lannes (2011), que avaliou castanhas da safra de abril de 2010, quebradas e despelculadas, que apresentaram 66,2% de lipídeos. Souza e Menezes (2004) caracterizaram a castanha-do-brasil e obtiveram como resultado 67,3% de lipídeos. Entretanto, o valor apresentado por Ferreira et al. (2006) foi apenas de 61,0%.

Tabela 2 - Composição centesimal da castanha-do-brasil

Amostra	Lipídeos	Proteínas	Carboidratos*	Cinzas	Umidade
In natura ¹	63,32 ± 4,52 ^b	10,67 ± 0,61 ^b	15,38 ± 5,02 ^a	3,24 ± 0,25 ^b	7,39 ± 1,44 ^a
Dry ²	65,02 ± 2,36 ^{a,b}	11,00 ± 0,48 ^a	16,28 ± 1,97 ^a	3,39 ± 0,16 ^a	4,31 ± 0,81 ^b
Amêndoa ³	67,03 ± 3,35 ^a	10,49 ± 0,52 ^{a,b}	13,97 ± 4,11 ^a	3,55 ± 0,18 ^a	4,95 ± 1,78 ^b

¹castanha-do-brasil *in natura*; ²castanha-do-brasil *dry*; ³amêndoa desidratada

*Carboidratos totais

** Letras diferentes na mesma coluna, significam que as médias diferem estatisticamente ao nível de 5% pelo Teste de Tukey

A tabela brasileira de composição de alimentos – TACO, desenvolvida pela Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP (2011), apresenta para a castanha-do-brasil crua, 63,5% de lipídeos, 14,5% de proteínas, 15,1% de carboidratos, 3,4% de cinzas e umidade 3,5%. Neste estudo a porcentagem de proteínas foi menor variando de 10,4% a 11,0%, e a de carboidratos maior de 13,9% a 16,2%.

Os valores energéticos totais foram de 674,06 kcal, 694,31 kcal e 701,18 kcal, para as castanhas *in natura*, *dry* e amêndoa desidratada, respectivamente. O valor energético encontrado por Santos et al. (2013) em castanhas selecionadas e classificadas, corrobora este resultado, as 710,60 kcal foram determinadas de acordo com a composição centesimal.

O aumento energético evidenciado ao longo do processamento deve-se ao aumento de lipídeos em cada etapa. Esta diferença possui relação com o fato do solvente utilizado na extração para determinação da quantidade de óleo tornar-se mais eficiente quanto mais seca for a amostra, pois a penetração deste é melhor em amostras secas (CECCHI, 2003).

Após a extração do óleo por prensagem a frio, a torta de castanha-do-brasil obtida, caracteriza-se por ser uma importante fonte de proteínas, com variação de 21,1% a 29,4% encontrados neste trabalho (Tabela 3). Porém o método físico de prensagem não possui a capacidade de extrair completamente o óleo das castanhas, restando uma quantidade considerável de óleo na torta, 30,9% a 49,0% de lipídeos. A diferença dos valores apresentados neste estudo deve-se exatamente a capacidade de extração do óleo por prensagem. A porcentagem de 19,1 de lipídeos, 28,3 de proteínas e 39,6 de carboidratos foram obtidos em trabalho realizado por Ferreira et al. (2006). Enquanto que Souza e Menezes (2004) apresentaram 25,1%, 40,2% e 19,0%, para lipídeos, proteínas e carboidratos respectivamente.

Tabela 3 - Composição centesimal da torta de castanha-do-brasil

Torta	Lipídeos	Proteínas	Carboidratos*	Cinzas	Umidade
<i>In natura</i> ¹	49,01 ± 6,88 ^a	21,19 ± 1,71 ^c	16,76 ± 6,79 ^b	4,95 ± 0,30 ^a	8,80 ± 0,47 ^a
<i>Dry</i> ²	34,88 ± 4,04 ^b	25,94 ± 3,30 ^b	25,17 ± 4,82 ^a	5,20 ± 0,09 ^a	8,82 ± 0,60 ^a
Amêndoa ³	30,96 ± 3,27 ^c	29,43 ± 3,56 ^a	29,15 ± 5,90 ^a	5,09 ± 0,63 ^a	5,37 ± 1,08 ^b

¹castanha-do-brasil *in natura*; ²castanha-do-brasil *dry*; ³amêndoa desidratada

*Carboidratos totais

** Letras diferentes na mesma coluna, significam que as médias diferem estatisticamente ao nível de 5% pelo Teste de Tukey

A extração supercrítica por CO₂, para obtenção de óleo de castanha-do-brasil, utilizada por Santos et al. (2013) mostrou-se eficiente, resultando em uma torta com menos teor de lipídeos, e conseqüentemente apresentando um valor energético total de 404,44 kcal, inferior ao observado nesse estudo que foi de 592,94 kcal para a

torta obtida da castanha *in natura*, 518,30 kcal para a castanha *dry* e 512,93 kcal para a amêndoa. Como demonstrado, a torta, constitui-se importante fonte de nutrientes, podendo ser utilizada como matéria-prima para outros produtos alimentícios.

3.3.2 Composição em ácidos graxos

A denominação dos ácidos graxos ocorre de acordo com suas estruturas químicas e são classificados como saturados ou insaturados, conforme o número de duplas ligações. Aqueles com uma única dupla ligação são denominados ácidos graxos monoinsaturados, se apresentar duas ou mais este será poli-insaturado (VISENTAINER, FRANCO, 2006). O conhecimento dos ácidos graxos da fração lipídica da castanha-do-brasil é importante para determinar a estabilidade deste óleo frente às ações das reações de oxidação.

Para a castanha *in natura* 24,93% dos ácidos graxos constituintes são saturados e 75,07% insaturados, sendo 31,5% monoinsaturados (palmitoleico e oleico) e 43,57% poli-insaturados (linoleico e linolênico). A porcentagem de ácidos graxos saturados e insaturados da castanha *dry* foram 26,32% e 73,69% respectivamente, com 29,32% de monoinsaturados e 44,37% poliinsaturados. A amêndoa desidratada apresentou 26,22% de saturados e 73,78% de insaturados sendo 31,5% monoinsaturados e 42,28% poli-insaturados. Em todas as amostras o ácido graxo saturado predominante foi o palmítico, enquanto que o ácido linoleico (ômega 6) destaca-se como poliinsaturado com maior porcentagem (Tabela 4). Não houve diferença significativa no perfil de ácidos graxos nas amostras de óleo de castanha no decorrer do processamento.

Tabela 4 – Composição em ácidos graxos (%) nas amostras de castanha-do-brasil

Castanha-do-brasil	<i>In natura</i>	<i>Dry</i>	Amêndoa desidratada
Mirístico	0,03 ± 0,01	0,04 ± 0,00	0,03 ± 0,00
Palmítico	13,67 ± 0,08	14,06 ± 0,10	14,03 ± 0,06
Palmitoleico	0,20 ± 0,09	0,22 ± 0,09	0,14 ± 0,01
Heptadecanóico	0,06 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,05 ± 0,00
Estearico	11,17 ± 0,40	12,18 ± 0,52	12,11 ± 0,15
Oleico	31,30 ± 0,44	29,10 ± 0,44	31,36 ± 0,09
Linoleico	43,50 ± 0,01	44,31 ± 0,06	42,23 ± 0,00
Linolênico	0,07 ± 0,0	0,06 ± 0,02	0,05 ± 0,01

Estes resultados diferem dos encontrados por Ferreira et al. (2006), que apresentou uma constituição de 85% de ácidos graxos insaturados, sendo 34% representado pelo ácido graxo poliinsaturado linoleico e 51% pelo ácido graxo monoinsaturado oleico. Entretanto, em estudo realizado por Santos et al. (2012) o ácido graxo insaturado predominante também foi o linoleico, com 37,53%. O alto teor de ácido linoleico como relatado neste estudo é uma propriedade adicional desejada em um bom óleo de mesa, e assemelha-se ao azeite de oliva, sendo, portanto, muito saudável. (ELIAS; BRESSANI, 1961; SOUZA et al., 2008).

Silva, Ascheri e Souza (2010), avaliaram o perfil dos ácidos graxos de castanhas intactas e quebradas, e detectaram em ambas amostras o ácido araquidônico ($C_{20:4}$), o mesmo não foi encontrado nas amostras deste trabalho. Este ácido constitui-se como um precursor da síntese de compostos químicos que desencadeiam efeitos adversos no metabolismo e está relacionado ao desenvolvimento de doenças inflamatórias e câncer (BARBOSA et al., 2007; WYNDER et al., 1997). No entanto, o consumo do ácido linolênico, ácido graxo constituinte da castanha-do-brasil e representante da família ômega 3, está relacionado à redução na incidência de doenças cardiovasculares, inflamatórias, câncer, hipertensão e à prevenção e tratamento de tumores (CONNOR, 2000).

O aumento, não significativo, no valor de ácidos graxos saturados após o início do processamento deve-se provavelmente às perdas por peroxidação, como observado por Ghirardello et al. (2013), que estudaram as consequências do armazenamento de avelãs. Apesar dos ácidos graxos poliinsaturados fornecerem importantes precursores e metabólitos, a presença de duplas ligações próximas eleva a instabilidade oxidativa (REGITANO-D'ARCE, 2006).

O grau de insaturação no óleo obtido da castanha-do-brasil é menor do que o encontrado no óleo de oliva (83,3%), amêndoa (87,0%) e noz (83,0%). Todavia, a porcentagem de ácido linoleico ($C_{18:2}$) é maior do que nos óleos de amêndoa e oliva. O óleo de castanha-do-brasil possui potencial valor comercial na indústria de alimentos, como também em aplicações nas áreas de ciências médicas (CHUNHIENG et al., 2008).

3.3.3 Qualidade microbiológica

A qualidade microbiológica nos permite avaliar as condições dos procedimentos de higiene adotados no processamento destes alimentos que serão

disponibilizados para o consumidor. No caso específico, para castanha-do-brasil, a Resolução nº 12 de 2001 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA estabelece como padrão para comercialização parâmetros apenas para as espécies de Coliformes termotolerantes a 45 °C, com tolerância para amostra indicativa de 10^3 e ausência em 25 g para *Salmonella* spp (BRASIL, 2001).

Os microrganismos indicadores tais como a *Escherichia coli*, quando presentes em alimentos, podem fornecer informações sobre a ocorrência de contaminação fecal, sobre a presença de patógeno ou sobre a deterioração do alimento. Os microrganismos indicadores ainda podem indicar condições sanitárias inadequadas durante o processo, produção ou armazenamento dos alimentos (SOUZA; CARTAXO; LEITE, 2004).

Os alimentos contaminados por *Salmonella* possuem aroma e aparência normais, e a maioria destes é de origem animal, como carne de gado, galinha, ovos e leite. Porém, todos os alimentos, inclusive vegetais, podem tornar-se contaminados, pois o trato intestinal de humanos e animais apresentam-se como principal habitat destes bastonetes, e a deficiência na higiene dos manipuladores de alimentos constitui-se fonte de dissipação desta bactéria (SHINOHARA et al., 2008).

Dadas às condições precárias de coleta da castanha-do-brasil, realizada em meio à floresta Amazônica, sem estrutura para que os coletores adotem boas práticas fabricação e, considerando também, o transporte da castanha até os locais de beneficiamento, é muito fácil compreender a presença de microorganismos patogênicos na amêndoa (MARTINS JUNIOR et al., 2011; KANZAKI, 2009). Apesar destas circunstâncias, os resultados deste estudo encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela legislação brasileira para Coliformes termotolerantes a 45 °C, que foi avaliado em termos de *E. coli*, e para *Salmonella* (Tabela 5). Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Santos, Corrêa e Lannes (2011), que também obtiveram resultados negativos para *Salmonella* e NMP/g menor que 3, para Coliformes a 45 °C.

Feris et al. (2010) analisaram 90 amostras de castanhas-do-brasil, provenientes dos estados do Pará e Amazonas, na cadeia produtiva, sendo amostras com e sem cascas. Destas, 42 tiveram como resultado contagem de *E. coli*, 46 apresentaram coliformes termotolerantes, 50 apresentaram coliformes totais e todas as amostras tiveram como resultado ausência de *Salmonella*.

Tabela 5 – Contaminação microbiológica nas amostras de castanha-do-brasil

Amostra	Coliformes totais*	E. coli (UV)*	Salmonella**
Castanha-do-brasil <i>in natura</i>			
A1	4,0.10 ²	< 1	negativo
A2	5,8.10 ²	< 1	negativo
A3	1,0.10 ³	< 1	negativo
A4	6,2.10 ⁴	< 1	negativo
A5	2,8.10 ³	< 1	negativo
A6	5,4.10 ²	< 1	negativo
A7	13,2.10 ⁴	< 1	negativo
A8	5,0.10 ³	< 1	negativo
Castanha-do-brasil <i>dry</i>			
B1	4,8.10 ²	< 1	negativo
B2	4,8.10 ²	< 1	negativo
B3	2,2.10 ²	< 1	negativo
B4	2,0.10 ³	< 1	negativo
B5	4,2.10 ²	< 1	negativo
B6	5,8.10	< 1	negativo
B7	3,8.10 ²	< 1	negativo
B8	3,6.10 ²	< 1	negativo
Amêndoa desidratada			
C1	6,0.10	< 1	negativo
C2	< 1	< 1	negativo
C3	1,6.10 ²	< 1	negativo
C4	< 1	< 1	negativo
C5	6,8.10 ²	< 1	negativo
C6	2,0.10	< 1	negativo
C7	2,0.10 ²	< 1	negativo
C8	5,6.10 ²	< 1	negativo

*Número mais provável por grama de amostra (NMP/g)

**Ausência em 25 g de amostra

Segundo Reis et al. (2004), a elevada temperatura utilizada nas estufas durante a desidratação mostra-se eficiente na eliminação da população de coliformes totais e os termotolerantes a 45 °C. Contudo, as práticas higiênico-sanitárias devem ser adotadas em todas as etapas do processamento, para que a contaminação presente nas castanhas sejam apenas as provenientes do meio ambiente em que esta foi coletada, e não adquiridas durante a manipulação destas nas usinas processadoras.

3.3.4 Qualidade da fração lipídica obtida de castanha-do-brasil

Os danos causados por alterações na fração lipídica constituem-se, após as perdas por contaminação microbiana, o mais importante fator para a deterioração dos alimentos. Na presença de umidade e enzimas lipases, e catalisada por luz e calor, ocorre à reação de rancidez hidrolítica, quebrando os triacilgliceróis e liberando ácidos graxos. A quantificação da acidez faz-se importante na avaliação da qualidade dos óleos e alimentos com lipídeos em sua composição. Os ácidos graxos livres, expressos em porcentagem de ácido oleico para a castanha *in natura* neste estudo, apresentou média de $1,12\% \pm 0,40$. Para as castanhas *dry* e amêndoas desidratadas, os resultados foram respectivamente $1,26\% \pm 0,46$ e $0,07\% \pm 0,03$ (Tabela 6). Através da RDC nº 270 da ANVISA, a legislação brasileira define como parâmetro para óleos prensados a frio e não refinados índice de acidez máximo 4,0 mg KOH/g. Todas as amostras analisadas encontram-se dentro dos padrões estabelecidos pela legislação para a comercialização e consumo (BRASIL, 2005).

Tabela 6 - Acidez da fração lipídica da castanha-do-brasil

	Índice de Acidez (mg KOH/g de óleo)	AGL* (% em ácido oleico)
Castanha-do-brasil <i>in natura</i>	$2,20 \pm 0,84^a$	$1,12 \pm 0,40^a$
Castanha-do-brasil <i>dry</i>	$2,48 \pm 0,97^a$	$1,26 \pm 0,47^a$
Amêndoa desidratada	$0,18 \pm 0,07^b$	$0,07 \pm 0,03^b$

*Ácidos graxos livres

**Letras diferentes na mesma coluna, significam que as médias diferem estatisticamente ao nível de 5% pelo Teste de Tukey

A diferença significativa entre as amostras do grupo *in natura* e *dry* com o grupo da amêndoa classificada, explica-se pela redução da umidade das castanhas ao decorrer do processamento, bem como a integridade e a qualidade das castanhas selecionadas que constituem as amostras do último grupo. Segundo Rodrigues et al. (2005) a qualidade do óleo da castanha-do-brasil é resultado do clima da região Amazônica, onde a temperatura e a umidade no armazenamento e processamento são elevadas. Aumentando o valor da acidez na castanha e consequentemente interferindo na qualidade do óleo extraído. O comportamento das médias das leituras, mais ou menos 1 desvio padrão por amostra podem ser visualizados na Figura 7.

Figura 7 – Acidez de amostras de óleo de castanha-do-brasil, expressa em % AGL em ácido oleico
 Legenda: A – castanha *in natura*; B – castanha *dry*; C – amêndoa desidratada

A análise de amostras *in natura*, obtidas no estado do Acre na safra de 2005, realizada por Ferreira et al. (2006), apresentou resultado semelhante ao caracterizado neste trabalho, $0,21 \pm 0,05$ mg KOH/g de óleo. Para Vasconcelos et al. (2011), as amostras provenientes das cidades do Acre: Sena Madureira e Xapuri, forneceram $0,13 \pm 0,05$ e $0,12 \pm 0,01$ mg KOH/g de óleo, respectivamente. Este ótimo resultado obtido pelas autoras são decorrentes do bom estado de conservação das amostras e dos protocolos de coleta padronizados para fins de pesquisa. Demonstrando que a adoção de práticas eficientes na coleta, transporte e armazenamento podem melhorar a qualidade das castanhas recebidas para o processamento e consequentemente, fornecer um produto final melhor.

Ribeiro et al. (1993), após armazenamento, indicou que o óleo obtido a partir de castanhas descascadas apresentou índice de acidez quase dez vezes maior do que as em casca. O mesmo não foi observado neste trabalho, para efeito de processamento, pois as castanhas sem casca apresentaram resultados para o índice de acidez cerca de doze vezes menor do que as castanhas em casca. Fato este, em virtude a seleção e classificação das amêndoas.

O valor médio da acidez da amêndoa classificada neste estudo apresentou-se menor do que o encontrado por Santos et al. (2012), que avaliaram a acidez do óleo de castanha-do-brasil obtido por diferentes tipo de extração, após a secagem em forno de circulação forçada. Segundo os autores o resultado para o óleo de prensagem a foi de $0,320 \pm 0,097$ % de AGL em ácido oleico.

Apesar de todas as amostras apresentarem bons resultados para a acidez e estarem de acordo com a legislação brasileira, é evidente que o processamento e o óleo obtido de castanhas classificadas e selecionadas apresentam qualidade superior sob este aspecto.

Em termos de índice de peróxido, os resultados encontrados para a castanha *in natura* foi de $0,018 \pm 0,010$ mmol/kg, para castanha *dry*, $0,032 \pm 0,011$ mmol/kg e para a amêndoa desidratada, $0,044 \pm 0,011$ mmol/kg. Os resultados diferiram estatisticamente entre si. A legislação brasileira define como parâmetro de índice de peróxido para óleos prensados a frio e não refinados um valor máximo 15 meq/kg de óleo. Conforme podemos observar na Tabela 7. Os valores convertidos em meq/kg para as amostras utilizadas neste estudo foram baixos, estando de acordo com a RDC nº 270, de 22 de setembro de 2005 (BRASIL, 2005).

Tabela 7 – Índice de peróxido da fração lipídica da castanha-do-brasil

Amostra	Índice de peróxido	
	mmol/kg	meq/kg
Castanha-do-brasil <i>in natura</i>	$0,018 \pm 0,010^c$	$0,004 \pm 0,003^c$
Castanha-do-brasil <i>dry</i>	$0,032 \pm 0,011^b$	$0,011 \pm 0,004^b$
Amêndoa desidratada	$0,044 \pm 0,011^a$	$0,015 \pm 0,004^a$

*Letras diferentes na mesma coluna, significam que as médias diferem estatisticamente ao nível de 5% pelo Teste de Tukey

A formação de peróxidos é decorrente das reações de oxidação, e sua análise serve como indicador do grau de oxidação em que se encontra o óleo, principalmente na fase inicial, pois após os hidroperóxidos são degradados em outros compostos tais como hidrocarbonetos, álcoois, furanos, aldeídos, cetonas, e compostos ácidos são formados de acordo com a composição dos hidroperóxidos (MIN; BRADLEY, 1992; WAŚOWICZ et al., 2004).

A diferença para a castanha *in natura*, *dry* e amêndoa desidratada explica-se pela manipulação durante o processamento, pela exposição ao oxigênio após a

retirada da casca e ao calor aplicado nos processos de secagem (RIBEIRO et al., 1993). O comportamento das amostras é demonstrado na Figura 8.

Figura 8 – Índice de peróxido em amostras de castanha-do-brasil, expresso em mmol/kg
Legenda: A – castanha *in natura*; B – castanha *dry*; C – amêndoa desidratada

Vasconcelos et al. (2011), obtiveram valores de $0,33 \pm 0,14$ e $0,25 \pm 0,00$ meq/kg em amostras de diferentes cidades no Acre. Os autores coletaram as castanhas seguindo protocolos padronizados. Entretanto, mesmo seguindo padrões de qualidade os resultados encontrados foram superiores ao deste trabalho. Para Ferreira et al. (2006), que analisaram castanhas adquiridas da safra de 2005 da Empresa COMARU (Cooperativa Mista Extrativista dos Produtores do rio Iratapuru, Iratapuru), também encontrou quantidade de peróxido dentro do limite estabelecido pela legislação, $0,970 \pm 0,01$ meq/kg. O óleo obtido por prensagem de Santos et al. (2012) apresentou o maior valor dentre estes estudos com $4,057 \pm 0,304$ meq/kg.

A presença de alta quantidade de ácidos graxos poliinsaturados no óleo de castanha permite a formação de dienos conjugados. Estes compostos são originados durante a reação de oxidação de uma molécula com duplas ligações separadas por um grupo metilênico, e podem ser identificados por absorção em luz

ultravioleta a 232 nm. Esta análise surgiu como mais uma ferramenta importante para a identificação da oxidação lipídica, pois pode refletir o estado de conservação do óleo, bem como as modificações provocadas pelos processos tecnológicos (MOON; SHIBAMOTO, 2009; SHAHIDI; WANASUNDARA, 2008; AOCS, 2003; GAMBA; MAZZINI, 1982, IUPAC, 1979). Os resultados encontrados para os óleos de castanha-do-brasil *in natura*, *dry* e amêndoa desidratada foram $2,14 \pm 0,28 E^{1\%}_{1cm}$, $1,60 \pm 0,47 E^{1\%}_{1cm}$ e $3,08 \pm 0,37 E^{1\%}_{1cm}$, respectivamente. Houve diferença significativa entre todos os grupos de amostras e boa repetitividade em cada grupo conforme apresentado na Figura 9, que fornece a distribuição das leituras.

Figura 9 - Absortividade a 232 nm em amostras de óleo de castanha-do-brasil
Legenda: A – castanha *in natura*; B – castanha *dry*; C – amêndoa desidratada

Para Ribeiro et al. (1993), as castanhas com casca no tempo zero de armazenamento apresentaram valores de absortividade de aproximadamente 2,0, e sem casca de 0,6. Ao longo do armazenamento as castanhas com casca mantiveram-se estáveis, enquanto que as castanhas sem casca apresentaram variação nos valores de absortividade. Os valores encontrados pelos autores foram

menores do que neste trabalho onde mesmo as castanhas com casca apresentaram valores iniciais de $2,14 E^{1\%}_{1cm}$.

Em dissertação realizada para testar a atividade antioxidante de ervas em óleo de castanha em temperatura ambiente, Zácari (2008) obteve para o óleo controle, sem adição de ervas, valor de $2,77 E^{1\%}_{1cm}$, porém, também não houve diferença significativa com os valores encontrados no óleo com adição ervas antioxidantes. Já Gutierrez (1995), observou diferença significativa entre os tratamentos com valores de absorvidade maiores em amostras com antioxidantes, devido à presença de compostos que absorvem a luz na mesma região do espectro.

Os resultados encontrados para a absorvidade corroboram o comportamento apresentado pelo índice de peróxido. Pois, de acordo com Robertson, Morrison e Burdick (1973), com o aumento da conjugação de dienos, aumenta proporcionalmente a absorção de oxigênio, e subsequentemente a formação de peróxido nos estágios iniciais da oxidação.

Através da estabilidade oxidativa por indução pode-se definir a resistência de um óleo à reação de oxidação. Quanto mais tempo o óleo permanecer em temperatura elevada de $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ e recebendo um fluxo de ar, melhor a estabilidade do óleo. Os resultados em horas não constataram diferença estatística significativa, e os valores das médias das etapas do processamento, obtidas em Rancimat foram $4,54 \pm 1,01$, $3,85 \pm 1,62$, $4,49 \pm 0,52$, para os óleos da castanha *in natura*, *dry* e amêndoa desidratada. Apesar da variabilidade de valores apresentados por cada amostra, entre os grupos as médias foram constantes conforme visualizado na figura 10.

Um valor de 12,73 horas foi obtido na avaliação do óleo de castanha prensado, por Santos (2012), caracterizando uma melhor estabilidade frente ao tempo encontrado neste trabalho.

Figura 10 - Oxidação lipídica em horas – Rancimat
 Legenda: A – castanha *in natura*; B – castanha *dry*; C – amêndoa desidratada

A velocidade de oxidação dos ácidos graxos poliinsaturados são diferentes entre si, e é maior que a dos monoinsaturados. O ácido linoleico é oxidado 64 vezes mais rapidamente que o ácido oleico, e o linolênico 100 vezes mais (SILVA; ASCHERI; SOUZA, 2010; ARAÚJO, 2004). Portanto quanto mais ácidos graxos poliinsaturados estiverem presentes na constituição da amostra, menor sua estabilidade. Desta forma, a menor estabilidade encontrada neste trabalho é reflexo do alto teor de ácidos graxos poliinsaturados nas amostras *in natura*, *dry* e na amêndoa desidratada.

3.4 Conclusões

A partir dos resultados encontrados neste trabalho, pode-se concluir que o processamento interferiu positivamente na qualidade da castanha-do-brasil. Durante o processamento exposição à luz e oxigênio após a remoção da casca e dos tratamentos térmicos aplicados, proporcionou-se um aumento significativo na formação de compostos primários da oxidação. Contudo, este acréscimo foi baixo,

mantendo as amostras com ótimos níveis em relação à formação de peróxido. O processamento interferiu positivamente, reduzindo a contaminação por Coliformes totais, como também o índice de acidez, sendo que todas as amostras estão dentro dos padrões estabelecidos pela legislação brasileira nestes quesitos.

O beneficiamento também não descaracterizou as amostras em questões de qualidade nutricional, mantendo a composição centesimal ao longo das etapas. Desta forma, podemos afirmar que o processamento não apenas oferece um produto com maior valor agregado, mas também que este produto possui ótimas características nutricionais, microbiológicas e de estabilidade frente às reações de oxidação.

Referências

- ÁLVARES, V.S.; CASTRO, I.M.; COSTA, D.A.; LIMA, A.G.; MADRUGA, A.L.S. Qualidade da castanha-do-brasil do comércio de Rio Branco, Acre. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 42, n. 2, p. 269-274, 2012.
- AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY. **Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society**. 6th ed. Champaign, 2009. 1278 p.
- ARAÚJO, J.M.A. **Química de alimentos**: teoria e prática. 3. ed. Viçosa: UFV, 2004. 210 p.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods analysis of AOAC international**. 18th ed. Gaithersburg, 2005. 1888 p.
- BARBOSA, K.B.F.; VOLP, A.C.P.; RENHE, I.R.T.; STRINGHETA, P.C. Ácidos graxos das séries ômega 3 e 6 e suas implicações na saúde humana. **Nutrire**, São Paulo, v. 32, n. 2, p. 129-145, 2007.
- BRANCO, G.F.; CASTRO, I.A. Optimization of oil oxidation by response surface methodology and the application of this model to evaluate antioxidants. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Urbana, v. 88, n. 11, p. 1747-1758, 2011.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001. Dispõe sobre o Regulamento técnico sobre os padrões microbiológicos para alimentos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 04 jan. 2001. Seção 1, p. 45-53.
- _____. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 360, de 23 dezembro de 2003. Dispõe sobre o regulamento técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados. **Diário Oficial da União**, Brasília, 26 dez. 2003. Seção 1, p. 28-32.

_____. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 270, de 22 de setembro de 2005. Dispõe sobre o regulamento técnico para óleos vegetais, gorduras vegetais e creme vegetal. **Diário Oficial da União**, Brasília, 23 set. 2005. Seção 1, p. 372-373.

CECCHI, H.M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. 2. ed. Campinas: Editora UNICAMP, 2003. 208 p.

CHUNHIENG, T.; HAFIDI, A.; PIOCHI, D.; BROCHIER, J.; MONTET, D. Detailed study of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) oil micro-compounds: phospholipids, tocopherols and sterols. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 19, n. 7, p. 1374-1380, 2008.

CONNOR, W.E. Importance of n-3 fatty acids in health and disease. **American Journal of Clinical Nutrition**, New York, v. 71, n. 1, p. 171-175, 2000.

DE SOUZA, A.H. **Castanha do Pará: estudo botânico, químico e tecnológico**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Serviço de Informação Agrícola, 1963. 69 p. (Estudos Técnicos, 23).

ELIAS, L.G.; BRESSANI, R. The nutritive value of the Brazil nut oil. **The Journal of the American Oil Chemists' Society**, Urbana, v. 38, n. 8, p. 450-452, 1961.

FERIS, J.P.R.; JUNQUEIRA, V.C.A.; YAMANAKA, B.T.; TANIWAKI, M.H. Avaliação microbiológica de castanha do Brasil na cadeia produtiva. In: 4º CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - CIIC, 2010, Campinas. **Anais...** Campinas: ITAL 2010. 1 CD-ROM.

FERREIRA, E.S.; SILVEIRA, C.S.; LUCIEN, V.G.; AMARAL, A.S. Caracterização físico-química da amêndoa, torta e composição dos ácidos graxos majoritários do óleo bruto da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.). **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 17, n. 2, p. 203-208, 2006.

GAMBA, P.; MAZZINI, C. Analisi dello spettro U.V. del sego e dello strutto durante il processo di autossidazione. **Revista Italiana delle Sostanze Grasse**, Milano, v. 59, n. 10, p. 467-472, 1982.

GHIRARDELLO, D.; CONTESSA, C.; VALENTINI, N.; ZEPPA, G.; ROLLE, L.; GERBI, V.; BOTTA, R. Effect of storage conditions on chemical and physical characteristics of hazelnut (*Corylus avellana* L.). **Journal Postharvest Biology and Technology**, Washington, v. 81, n. 1, p. 37-43, 2013.

GUTIERREZ, E.M.R. **Estabilidade oxidativa do óleo bruto de castanha-do-pará (*Bertholletia excelsa*)**. 1995. 81 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

HARTMAN, L.; LAGO, R.C.A. Rapid preparation of fatty acids methyl esters. **Laboratory Practice**, London, v. 22, p. 475-476, 1973.

HOMMA, A.K.O. Cemitério das castanheiras. **Ciência Hoje**, São Paulo, v. 34, n. 202, p. 60-63, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema IBGE de recuperação automática**: Banco de dados agregados. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=289&z=p&o=27&i=P>>. Acesso em: 14 jan. 2014.

INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY. **Standard methods for the analysis of oils, fats and derivatives**. 6th ed. Oxford: Pergamon Press, 1979. 170 p.

KAINER, K.A.; WADT, L.H.O.; STAUDHAMMER, C.L. Explaining variation in Brazil nut fruit production. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 250, n. 3, p. 244-255, 2007.

KANZAKI, L.I.B. (Org.). Desenvolvimento sustentável em áreas de extrativismo da castanha-do-brasil no sul do Amapá: ecologia, socioeconomia, microbiologia e físico-química. **Banco da Amazônia**, Belém, v. 9, n. 2, p. 146-179, 2009.

MARTINS JUNIOR, P.O.; SOUSA, V.Y.K.; CORREIA, A.F.; MATA, E.C.G.; KANZAKI, L.I.B. Fontes de contaminação microbiana da castanha-do-pará. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, Belém, v. 6, n. 12, p. 21-30, 2011.

MARTINS, L.; SILVA, Z.P.G.; SILVEIRA, B.C. Produção e comercialização da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*, H.B.K) no Estado do Acre – Brasil, 1998-2006. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 45., 2008, Rio Branco. **Anais...** Rio Branco: UFAC, 2008. 14 p.

MIN, D.B.; BRADLEY, G.D. Fats and oils: flavors. In: HUI, Y.H. (Ed.). **Encyclopedia of food science and technology**. New York: Wiley, 1992, p. 823-832.

MOON, J.K.; SHIBAMOTO, T. Antioxidant assays for plant and food componentes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 57, n. 5, p. 1655-1666, 2009.

MÜLLER, C.H.; FIGUEIREDO, F.J.C.; KATO, A.K.; CARVALHO, J.E.U. de; STEIN, R.L.B.; SILVA, A.B. **A cultura da castanha-do-brasil**. Belém: EMBRAPA, CPATU, 1995. 65 p.

PACHECO, A.M.; SCUSSEL, V.M. **Castanha-do-brasil**: da floresta tropical ao consumidor. Florianópolis: Editograf, 2006. 176 p.

PREGNOLATTO, W.; PREGNOLATTO, N.P. (Coord.). **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz**: métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 3. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1985. 533 p.

REGITANO-D'ARCE, M.A.B. Deterioração de lipídeos – ranço. In: OETTERER, M.; REGINATO-D'ARCE, M.A.B.; SPOTO, M.H.F. **Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos**. Barueri: Manole, 2006. 612 p.

REIS, F.S.; ROSAS, G.K.C.; CARTAXO, C.B.C.; SOUZA, J.M.L. Avaliação da qualidade microbiológica de castanha-do-brasil na Amazônia ocidental. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 56., 2004, Cuiabá, 2004. **Anais...** Cuiabá: Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, 2004. 1 CD-ROM.

RIBEIRO, M.A.A.; REGINATO-D'ARCE, M.A.B.; LIMA, U.A.; BAGGIO, C.E. Armazenamento da castanha do Pará com e sem casca: efeito da temperatura na resistência ao ranço. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 50, n. 3, p. 343-348, 1993.

ROBERTSON, J.A.; MORRISON, W.H.; BURDICK, D. Chemical evaluation of oil from field and storage-damaged soybeans. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Champaign, v. 50, n. 2, p. 443-445, 1973.

RODRIGUES, J.E.; ARAÚJO, M.E.; AZEVEDO, F.F.M.; MACHADO, N.T. Phase equilibrium measurements of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) oil in supercritical carbon dioxide. **Journal of Supercritical Fluids**, New York, v. 34, n. 2, p. 223–239, 2005.

SANTOS, O.V. **Estudo das potencialidades da castanha-do-brasil**: produtos e subprodutos. 2012. 215 p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SANTOS, O.V.; CORRÊA, N.C.F.; LANNES, S.C.S. Caracterização física, físico-química, microbiológica e micotoxicológica da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H. B. K). **Revista Illuminart**, Sertãozinho, v. 1, n. 7, p. 48-59, 2011.

SANTOS, O.V.; CORRÊA, N.C.F.; CARVALHO JR., R.N.; COSTA, C.E.F.; FRANÇA, L.F.F.; LANNES, S.C.S. Comparative parameters of the nutritional contribution and functional claims of Brazil nut kernels, oil and defatted cake. **Food Research International**, Barking, v. 51, n. 2, p. 841–847, 2013.

SANTOS, O.V.; CORRÊA, N.C.F.; SOARES, F.A.S.M.; GIOIELLI, L.A.; COSTA, C.E.F.; LANNES, S.C.S. Chemical evaluation and thermal behavior of Brazil nut oil obtained by diferente extraction processes. **Food Research International**, Barking, v. 47, n. 2, p. 253–258, 2012.

SAS INSTITUTE. **SAS 9.1.3**: help and documentation. Cary, 2000-2004.

SHAHIDI, F.; WANASUNDARA, U.N. Methods for measuring oxidative rancidity in fats and oils. In: AKOH, C.C.; MIN, D.B. (Ed.). **Food lipids**: chemistry, nutrition and biotechnology. 3rd ed. New York: CRC Press, 2008. chap. 14, p. 347-408.

SHINOHARA, N.K.S.; BARROS, V.B.; JIMENEZ, S.M.C.; MACHADO, E.C.L.; DUTRA, R.A.F.; LIMA FILHO, J.L. *Salmonella spp.*, importante agente patogênico veiculado em alimentos. **Ciência e Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 5, p. 1675-1683, 2008.

SILVA, N.; JUNQUEIRA, V.C.A.; SILVEIRA, N.F.A.; TANIWAKI, M.H.; SANTOS, R.F.S.; GOMES, R.A.R. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos e água**. 4. ed. São Paulo: Varela, 2010. 624 p.

SILVA, R.F.; ASCHERI, J.L.R.; SOUZA, J.M.L. Influência do processo de beneficiamento na qualidade de amêndoas de castanha-do-brasil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 445-450, 2010.

SOUZA, C.R.; AZEVEDO, C.P.; ROSSI, L.M.B.; LIMA, R.M.B. **Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.)**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2008. 22 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 60).

SOUZA, J.M.L.; MENEZES, H.C. Processamentos de amêndoa e torta de castanha-do-brasil e farinha de mandioca: parâmetros de qualidade. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 1, p. 120-128, 2004.

SOUZA, J.M.L.; CARTAXO, C.B.C.; LEITE, F.M.N. **Manual de segurança e qualidade para a cultura da castanha-do-Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 61 p.

SOUZA, J.M.L.; CARTAXO, C.B.C.; LEITE, F.M.N.; REIS, F.S. **Avaliação microbiológica de amêndoas de castanha-do-brasil em usinas de beneficiamento no Acre**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2004. 24 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, nº 39).

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, 15., 2011, Belém. **Anais...** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2011. 1 CD-ROM.

VISENTAINER, J.V.; FRANCO, M.R.B. **Ácidos graxos em óleos e gorduras: identificação e quantificação**. São Paulo: Varela, 2006. 120 p.

WĄSOWICZ, E.; GRAMZA, A.; HEŚ, M.; JELEŃ, H.H.; KORCZAK, J.; MATECKA, M.; MILDNER-SZKUDLARZ, S.; RUDZIŃKA, M.; SAMOTYJA, U.; ZAWIRSKA-WOJTASIAK, R. Oxidation of lipids in food. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**, Olsztyn, v. 13/54, n. 1, p. 87-100, 2004.

WYNDER, L.E.; COHEN, L.A.; MUSCAT, J.E.; WINTERS, B.; DWYER, J.T.; BLACKBURN, G. Breast cancer: weighing the evidence for a promoting role of dietary fat. **Journal of the National Cancer Institute**, Bethesda, v. 89, n. 11, p. 766-775, 1997.

ZÁCARI, C.Z. **Estabilidade oxidativa de óleo extra-virgem de castanha do Pará com ervas aromáticas antioxidantes**. 2008. 112 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

ZAJDENWERG, C.; BRANCO, G.F.; ALAMED, J.; DECKER, E.A.; CASTRO, I.A. Correlation between sensory and chemical markers in the evaluation of Brazil nut oxidative shelf-life. **European Food Research and Technology**, Berlin, v. 233, n. 1, p. 109-116, 2011.

4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA CASTANHA-DO-BRASIL (*Bertholletia excelsa*, H.B.K.): CONTAMINAÇÃO POR AFLATOXINAS

Resumo

A umidade relativa e a temperatura da região Amazônica favorecem o desenvolvimento de fungos potencialmente toxigênicos. Principalmente os do gênero *Aspergillus*, produtores de aflatoxinas. Estas toxinas são de grande relevância na contaminação da castanha-do-brasil, uma vez que essa *commodity* é nativa da floresta amazônica e seu sistema de produção é predominantemente extrativista. Assim a qualidade das castanhas coletadas, em questões da contaminação por aflatoxinas é decorrente do manejo e transporte desta matéria-prima até as indústrias processadoras. O processamento de castanha-do-brasil possui como função a seleção e classificação, como também o fornecimento de um alimento seguro ao consumidor. A coleta da amostra e seu preparo consistem nas etapas mais importantes na análise de determinação de aflatoxinas, tendo em vista a natureza heterogênea da contaminação. Por meio de amostragens significativas, este estudo objetivou avaliar a eficiência do processamento da castanha-do-brasil no controle da contaminação por aflatoxinas. Um total de 24 amostras (8 castanha *in natura*, 8 castanha *dry* e 8 amêndoa desidratada) foram coletadas de acordo com a legislação europeia para um lote inicial de 2 toneladas. Como resultado, houve redução significativa na contaminação por aflatoxinas totais. A concentração nas amostras de castanha *in natura* foi de $334,26 \pm 269,64 \mu\text{g/kg}$, castanha *dry* $535,71 \pm 134,40 \mu\text{g/kg}$ e amêndoa desidratada $44,68 \pm 68,25 \mu\text{g/kg}$. Porém, o processamento não foi eficaz para reduzir a alta concentração inicial aos limites de comercialização estabelecidos tanto pela legislação brasileira, como também europeia e do *Codex Alimentarius*.

Palavras-chave: Qualidade; Processamento; Aflatoxinas; Atividade de água

Abstract

The relative humidity and temperature of the Amazon region lead to the development of potentially toxigenic fungi. Especially those of the genus *Aspergillus*, producers of aflatoxins. These toxins are very relevant in contamination of the Brazil nut, once this commodity is native to the Amazon rainforest and their production system is predominantly extractive. So the quality of the nuts collected, on questions of aflatoxins contamination is a result of handling and transport of this seed to the processing industries. The processing of the Brazil nut has the function of selection and classification, as well as providing a safe food to consumers. Sample collection and its preparation are the most important steps in the aflatoxins analysis because of heterogeneous nature of the contamination. By significant samplings, this study aimed to evaluate the efficiency of the processing of the Brazil nut in controlling of the aflatoxin contamination. A total of 24 samples (8 *in nature* Brazil nut, 8 dry Brazil nut and 8 dehydrated kernel) were collected according to European legislation for an initial lot of two tonnes. The concentration in the samples of *in nature* Brazil nut was $334.26 \pm 269.64 \mu\text{g/kg}$, dry Brazil nut $535.71 \pm 134.40 \mu\text{g/kg}$ e dehydrated kernel $44.68 \pm 68.25 \mu\text{g/kg}$. And as a result, achieved a reduction in contamination. However, processing has not been sufficient to reduce the high concentration initial

of the limits of marketing both by Brazilian law as well as European and Codex Alimentarius.

Keywords: Quality; Processing; Aflatoxins; water activity

4.1 Introdução

A contaminação fúngica nos alimentos é considerada um fator importante não apenas sob o ponto de vista sensorial, mas também pelo perigo que a presença e/ou ingestão de micotoxinas, metabólitos secundários produzidos pelos fungos filamentosos, representa para o consumidor. (BETINA, 1984; MUNINBAZI; BULLERMAN, 1996; SWEENEY; DOBSON, 1998). O contato ou a ingestão destes metabólitos presentes nos alimentos ou rações animais podem causar as micotoxicoses que constitui um sério problema de saúde pública, tendo em vista também que as micotoxinas podem apresentar um potencial carcinogênico de até 100 vezes a mais do que substâncias como pesticidas e aditivos. (HAYES, 1978; SCOTT, 1997; KUIPER-GOODMAN, 1999; BENNETT; KLICH, 2003).

Os principais fatores que favorecem o desenvolvimento de fungos toxicogênicos são: temperatura, umidade relativa, teor de umidade do alimento e competição microbiana. Por sua vez, a produção de micotoxinas resulta da tripla combinação entre espécie fúngica, substrato e meio ambiente (SCUSSEL, 1998). A contaminação por micotoxinas pode ocorrer nas diversas etapas do desenvolvimento da planta, na colheita ou na estocagem de alimentos, podendo permanecer no alimento mesmo depois que os fungos responsáveis pela produção não estejam mais presentes, principalmente pelo fato de serem termoestáveis (ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD - OPS, 1983; TANIWAKI; SILVA, 2001; FREIRE et al., 2007).

Contudo, apesar da ampla variedade de fungos produtores destes compostos, as espécies pertencentes ao gênero *Aspergillus*, principalmente as espécies *A. flavus*, *A. parasiticus* e *A. nomius*, são as mais disseminadas no Brasil e as mais conhecidas em termos de produção das mais importantes micotoxinas, as aflatoxinas (AF) (MURPHY et al., 2006; PITT; HOCKING, 2009). Estas espécies são responsáveis pela formação de metabólitos derivados do grupo bisfurocuma, que são denominados AFB1, AFB2, AFG1 e AFG2, de acordo com sua fluorescência na luz ultravioleta (UV) de comprimento de onda longo: “B” de *blue* e “G” de *green*. A

aflatoxinas B1 tem o maior potencial tóxico, seguido da aflatoxinas G1, B2 e G2. As aflatoxinas B apresentam anel ciclopentanona na molécula, enquanto que as da série G possuem anel lactona. As aflatoxinas B2 e G2 são dihidroderivados de B1 e G1, respectivamente (DUTTON; HEATHCOTE, 1966; GOURAMA; BULLERMAN, 1995; CAST, 2003; FREIRE et al., 2007). A aflatoxina B1 é a mais potente em termos de potencial hepatocarcinogênese e também é a encontrada em maior concentração em alimentos e rações (LEE et al., 2004).

As toxinas produzidas por *Aspergillus* seção *Flavi* são de grande relevância na contaminação de castanha-do-brasil, uma vez que esta *commodity* selvagem é nativa da floresta Amazônica e a umidade relativa desta região favorece o crescimento destes fungos aflatoxigênicos (BAQUIÃO et al., 2012). A contaminação por aflatoxinas em amêndoas de castanha é conhecida desde o início do século passado. Um dos primeiros relatos descritos na literatura sobre a perda de qualidade da castanha foi feita por Spencer (1921), que descreveu um percentual de perdas entre 10 e 25%, evidenciando que as perdas pós-colheita de castanha-do-brasil eram predominantemente devido à contaminação por fungos aflatoxigênicos. *Aspergillus* seção *Flavi* também possuem a capacidade de crescimento em castanhas mesmo quando o teor de umidade das mesmas é inferior a 18%. Um limite de segurança na umidade de 13% a 15% é recomendado pelo *Codex Alimentarius*, ou atividade de água menor do que 0,70 (CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION, 2006; 2010). Portanto, quando as condições de armazenamento nas processadoras de castanhas não forem satisfatórias poderá ocorrer a produção destas toxinas (SCUSSEL, 1998; BAQUIÃO et al., 2012; CALDERARI et al., 2013).

Em vista disso, fica evidenciada a importância de controlar a contaminação dos fungos e consequentemente a formação de aflatoxinas em castanhas-do-brasil, através da adoção de práticas que visem minimizar os danos ocasionados a partir das condições da região de produção e coleta deste produto. Assim, torna-se necessário avaliar e caracterizar a interferência, das etapas do processamento da castanha-do-brasil, na contaminação por aflatoxinas e qualidade.

4.2 Material e Métodos

4.2.1 Processamento

As amostras de castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*, H.B.K.) foram coletadas em uma agroindústria processadora localizada no estado do Mato Grosso, Brasil, no mês de maio de 2013. A partir do beneficiamento adotado pela empresa, os passos para a obtenção de amêndoa desidratada foram os seguintes.

As castanhas-do-brasil foram recebidas do fornecedor, previamente lavadas e secas. E então, separadas por lotes e armazenadas até o momento de utilização da agroindústria. Na etapa de secagem, as castanhas foram colocadas em secador rotativo, onde permaneceram em temperatura média de 70 °C por aproximadamente de 12 horas. A partir deste ponto, passaram por uma mesa de seleção visual, onde os funcionários retiraram castanhas com aparência ruim ou duvidosa (quebradas, mofadas, danificadas por insetos, etc.).

Em seguida realizou-se o banho de vapor em autoclave, para facilitar a retirada da casca em mesa de quebra. As amêndoas ruins foram descartadas e as amêndoas selecionadas foram encaminhadas para a classificação por tamanho e qualidade (inteiras ou quebradas), onde os funcionários realizaram uma seleção mais criteriosa, descartando as amêndoas com pontos negros e oxidadas. Após este processo as amêndoas classificadas seguiram para o forno de desidratação, onde ficaram sob temperatura de 60 °C e ventilação controlada por 8 horas até a umidade desejada de 3%.

4.2.2 Coleta das amostras

A partir de um mesmo lote inicial de 2 toneladas, foram realizadas 8 coletas de amostras em cada ponto específico do processamento, representado na Figura 11. Totalizando 24 amostras para análise.

Figura 11 – Fluxograma para obtenção de amêndoa desidratada e dos pontos de coleta

¹ Castanha-do-brasil lavada e previamente seca pelo fornecedor

² Tempo de secagem de aproximadamente 10 horas

³ Temperatura e ventilação controlada até obter umidade de 3%

As amostragens foram feitas de acordo com o regulamento técnico nº 178/2010 da União Europeia (UE, 2010). Para a castanha *in natura* (ponto A) cada amostra foi constituída de aproximadamente 8 kg de castanhas. Pois, segundo esta legislação, como o lote diário inicial para processamento, da agroindústria fornecedora de amostras para este trabalho, constituiu-se de 2 toneladas, a quantidade recomendada para cada amostra neste ponto são de 8 kg.

Após a primeira secagem e seleção, para obtenção da castanha *dry* (ponto B) o lote representativo constitui-se de aproximadamente 1900 kg, portanto as amostras do ponto B também foram compostas de 8 kg cada (UE, 2010).

A amêndoa desidratada é obtida após a retirada da casca e seleção mais criteriosa, assim, a quantidade de amêndoa destinada para o processo de desidratação constitui-se de aproximadamente 700 kg, deste modo, as amostras do ponto C foram compostas de 6 kg cada (UE, 2010).

As amostras foram encaminhadas para o Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, em Piracicaba, onde procederam-se as análises de atividade de água assim que as amostras foram recebidas. As amostras de castanha *in natura* e *dry* foram descascadas, e armazenadas a temperatura de -18 °C até o momento de realização da análise para a avaliação de contaminação por aflatoxinas.

4.2.3 Atividade de água

A atividade de água das amostras foi analisada em triplicata por meio do aparelho AQUALAB CX-2 (Decagon Devices Inc. U.S.A.). As leituras no equipamento foram realizadas com variação máxima permitida de 1% em 20 minutos.

4.2.4 Análise de aflatoxinas

A análise de aflatoxinas foi baseada na metodologia descrita na Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2005) método n° 999.07 associada ao método n° 2005.08 (TRUCKSESS, 2006).

As amostras foram trituradas e homogeneizadas em Máquina Universal Polivalente Geiger Modelo UM-12, Brasil, com rotação de 3.500 rpm durante 7 min. Em 25 g da massa triturada e homogeneizada foram adicionados 5 g de NaCl e 125 mL da solução Metanol:H₂O (60:40) e procedeu-se agitação por 30 min.

A etapa de purificação do extrato foi realizada empregando-se a coluna de imunoafinidade NeoColumn–Aflatoxin da marca Neogen (Neogen® Corp.). A detecção e quantificação prosseguiram por cromatografia líquida de alta eficiência com detector de fluorescência e derivatização pós-coluna empregando-se o reator fotoquímico Romer® Derivatization Unit (RDU™). A coluna cromatográfica utilizada foi X-Terra Waters C18 (4,6 x 150mm), com tamanho de partícula 5 µm e pré-coluna. A fase móvel empregada constituiu-se de metanol:acetonitrila:H₂O Milli-Q (25:15:60), sendo os solventes utilizados tipo grau cromatográfico e a água obtida no sistema de filtragem Milli-Q, marca Millipore, modelo Simplicity 185-Simpark 1.

O equipamento cromatográfico utilizado, Shimadzu Corp., Japão, constitui-se por bomba modelo LC-10AT com câmara de mistura de solventes FCV-10AL vp, detector de fluorescência modelo RF-10AXL no comprimento de ondas 362 nm para excitação e 440 nm para emissão, injetor automático modelo SIL-20^a, forno modelo

CTO-20A mantido a 40°C, degaseificador modelo DGU-20A5 e software LC Solution. O sistema foi operado no modo isocrático com fluxo de 1,0mL/min e volume de injeção de 20µL. Nessas condições, o tempo de retenção das aflatoxinas B1, B2, G1 e G2 foram de, aproximadamente 9,2 minutos, 7,7 minutos, 7,0 minutos e 6,0 minutos respectivamente, sendo o tempo de corrida das amostras estabelecido em 15 minutos.

O controle de qualidade analítico foi realizado através da avaliação prévia da metodologia proposta, nas condições do laboratório, determinando-se os limites de detecção, quantificação e recuperação em no mínimo dois níveis de contaminação para os produtos analisados. O limite de detecção do método foi de 0,2 ppb (µg/kg) para cada aflatoxinas e o limite de quantificação de 0,4 ppb.

4.2.5 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos ao software Statistical Analysis System – SAS 9.1.3 (SAS Institute Inc., U.S.A.), aplicando-se a análise de variância (ANOVA). O Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade foi aplicado para a comparação das médias (SAS INSTITUTE, 2000-2004).

4.3 Resultados e Discussão

4.3.1 Atividade de água

Os valores de A_w encontrados para a castanha *in natura* (A) foram superiores a 0,70 (Tabela 8), o que torna possível o crescimento de fungos (JAY, 2005). Após a secagem em secador rotativo por 10 horas para obtenção da castanha *dry* (B), ocorreu redução da A_w de $0,76 \pm 0,0023$ para uma média de $0,67 \pm 0,0058$, ou seja, após a primeira etapa de redução da umidade na unidade processadora a A_w apresentou queda significativa. O mesmo ocorre com as amostras de amêndoa desidratada (C), os valores da A_w diminuíram significativamente para $0,50 \pm 0,0254$, após as duas secagens realizadas na processadora (Tabela 8).

Tabela 8 – Atividade de água nas amostras de castanha-do-brasil

Amostra	Aw
Castanha-do-brasil <i>in natura</i>	0,76 ± 0,0023 ^a
Castanha-do-brasil <i>dry</i>	0,67 ± 0,0058 ^b
Amêndoa desidratada	0,50 ± 0,0254 ^c

*Letras diferentes, significam que as médias diferem estatisticamente ao nível de 5% pelo Teste de Tukey

A água presente nos alimentos pode estar livre ou combinada com outros compostos, e está diretamente relacionada com o tempo de conservação destes alimentos. A análise de atividade de água (Aw) avalia o conteúdo de água livre disponível para o crescimento microbiano e para as reações de deterioração (KARMAS, 1980). Em uma Aw inferior a 0,90 o desenvolvimento de bactérias é reduzido bruscamente, enquanto que o crescimento de fungos não ocorre abaixo de 0,70 (JAY, 2005). A comissão do *Codex Alimentarius* (CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION, 2010) recomenda através do Código de Boas Práticas para o tratamento de castanha-do-brasil uma atividade de água menor que 0,7 como nível de segurança.

As etapas de secagem no processamento de castanha-do-brasil constituem-se importante ferramenta para o controle da umidade e consequentemente para inibir o desenvolvimento de microrganismos, como também para a sua conservação.

Os resultados para este estudo apresentaram boa reprodutibilidade nas diferentes amostragens realizadas em um mesmo ponto do beneficiamento, observados pelo baixo desvio padrão, evidenciando que os métodos utilizados nos processos de secagem, conseguem atingir uniformemente as castanhas. O comportamento das médias das leituras, mais ou menos 1 desvio padrão por amostra podem ser visualizados na Figura 12.

Figura 12. Atividade de água nas amostras de castanha-do-brasil
 Legenda: A – castanha *in natura*; B – castanha *dry*; C – amêndoa desidratada.

Santos et al. (2011), em estudo realizado, utilizou cerca de 40 kg de castanhas-do-brasil (safra de abril de 2010) quebradas e despelculadas, prontas para o consumo, e os resultados de 0,465 de A_w foram próximos aos encontrados neste trabalho para amêndoa desidratada.

Calderari et al. (2013) avaliou 173 amostras de castanha-do-brasil de aproximadamente 2 kg, para as castanhas obtidas na floresta os valores da atividade de água encontrado foi em média 0,950, enquanto que a média obtida nas plantas de processamento foi de 0,695. Amostras dos mercados de rua e de supermercados apresentaram média de atividade de água de 0,814 e 0,482 respectivamente. Estes resultados, do mesmo modo que o evidenciado neste trabalho, demonstram a queda na A_w ao longo do processamento. Porém, quando as condições de comercialização não são as ideais, a A_w tende a ser mais alta como é o caso encontrado por Calderari et al. (2013) nos mercados de rua.

4.3.2 Concentração de Aflatoxinas

Os resultados encontrados para a castanha *in natura*, *dry* e amêndoa desidratada mostram que das 24 amostras analisadas apenas 5 estão dentro dos limites estabelecidos pela legislação brasileira, União Européia e pelo *Codex Alimentarius* (BRASIL, 2011; EU, 2010; CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION, 2009). Sendo uma amostra pertencente ao grupo *in natura* e quatro ao grupo de amêndoas desidratadas, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 - Concentração de aflatoxinas nas amostras de castanha-do-brasil

Amostra	Aflatoxinas totais (µg/kg)		
	Castanha <i>in natura</i>	Castanha <i>dry</i>	Amêndoa desidratada
1	89,4	552,5	39,3
2	122,0	609,7	197,2
3	428,7	310,0	0,7
4	837,5	497,0	86,6
5	7,3	561,1	9,1
6	466,0	548,6	0,8
7	451,1	432,7	23,8
8	272,1	774,1	ND

*ND – não detectada

No Brasil o limite máximo tolerado para aflatoxinas totais (AFB1+AFG1+AFB2+AFG2), estabelecido pela ANVISA em 2011, consta de 20 µg/kg para castanha-do-brasil com casca para consumo direto; 10 µg/kg para castanha-do-brasil sem casca para consumo direto; e 15 µg/kg castanha-do-brasil sem casca para processamento posterior (BRASIL, 2011). O limite em vigor para amendoins e outras sementes oleaginosas como pistaches, avelãs e castanha-do-brasil, é de 15 µg/kg, estabelecido na legislação da Comunidade Européia, Regulamento nº 165/2010 (EU, 2010). Para a comissão do *Codex Alimentarius* (CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION, 2009), os limites são para castanhas-do-brasil sem casca: 15 µg/kg destinadas para o consumo direto e 20 µg/kg para as castanhas que sofrerão processamento futuro. Para as castanhas com casca destinadas para o consumo direto e para processamento futuro, os limites são de 20 µg/kg e 50 µg/kg, respectivamente.

Com uma redução em média de 86,6% na concentração de aflatoxinas ao longo do processamento, de 334,3 µg/kg na castanha *in natura* para 44,7 µg/kg na amêndoa desidratada. Esta redução ocasionada pelo processamento só seria eficaz

para fornecer amêndoas desidratadas ao consumidor dentro dos limites estabelecidos pela legislação apenas para algumas amostras do grupo A.

Segundo a legislação brasileira, por meio da Instrução Normativa (IN) nº 11, de 22 de março de 2010 (BRASIL, 2010), as amostras utilizadas para avaliação de aflatoxinas em castanha-do-brasil sem casca destinada ao consumo direto e destinada a processamento posterior devem ser representativas do lote, sendo assim, vedada a eliminação de castanhas podres, mofadas, quebradas, que descaracterizem o lote original. Nesta IN também define que a amostragem deve ser realizada de acordo com o país de destino.

Em 2010 houve atualização dos requisitos da União Européia para realização de amostragem para determinação de aflatoxinas em castanha-do-brasil. Sendo então utilizada como base neste trabalho o Regulamento nº 178/2010 da Comissão Européia de 2 de março de 2010 (UE, 2010). A coleta da amostra e seu preparo consistem nas etapas mais importantes determinação de aflatoxinas, tendo em vista a natureza heterogênea da contaminação, exigindo quantidades significativas de amostras que representem o lote a ser analisado. Se em uma amostra existir uma pequena porcentagem de castanhas contaminadas, ou até mesmo contiver uma única castanha com alta contaminação, o lote pode ser rejeitado. Da mesma forma, se a porção selecionada não apresentar contaminação o lote é liberado (SCUSSEL, 1998; WHITAKER, 2006).

A contaminação heterogênea fica evidenciada neste estudo com a variação dos resultados encontrados, mesmo com a realização de amostragens representativas do lote. Podendo este lote ser aceito ou rejeitado de acordo com a amostra escolhida para a verificação.

Para realização da análise estatística, as amostras em que não foram detectadas a presença de aflatoxinas (ND), adotou-se valor 0,00. Desta forma não foi observada diferença estatística entre as amostras pertencentes ao grupo de castanhas *in natura* ($334,26 \pm 269,64 \mu\text{g/kg}$) e as castanhas *dry* ($535,71 \pm 134,40 \mu\text{g/kg}$). Entretanto, houve diferença entre essas amostras e amostras do grupo amêndoa desidratadas ($44,68 \pm 68,25 \mu\text{g/kg}$) (Tabela 10).

Tabela 10 - Concentração de aflatoxinas totais em amostras de castanha-do-brasil *in natura*, *dry* e amêndoa desidratada

Amostra	Aflatoxinas totais (µg/kg)
Castanha <i>in natura</i>	334,26 ± 269,64 ^a
Castanha <i>dry</i>	535,71 ± 134,40 ^a
Amêndoa desidratada	44,68 ± 68,25 ^b

**Letras diferentes na mesma coluna, significam que as médias diferem estatisticamente ao nível de 5% pelo Teste de Tukey

Como a variação entre os resultados encontrados em cada etapa do processamento foi alta, aplicou-se um fator de correção, $\frac{1}{2}(\sqrt{x})$, para diminuir o coeficiente de variação e melhor visualização do desvio padrão. Pois como observado na amostra de amêndoa desidratada o desvio padrão foi superior à média. Após a transformação dos valores a diferença estatística foi mantida, $9,23 \pm 3,97$ µg/kg na castanha *in natura*, $12,26 \pm 1,27$ µg/kg na castanha *dry* e $3,45 \pm 2,67$ µg/kg na amêndoa desidratada.

Um total de 30 amostras padrão exportação, obtidas de uma beneficiadora localizada no estado do Amazonas, foram utilizadas por Martins et al. (2012). Nas amostras de aproximadamente 1 kg, coletadas de acordo com a legislação da União Europeia de 2003, não foram detectadas a contaminação por aflatoxinas apesar do limite de detecção do método (0,3 µg/kg). Santos et al. (2011), também não detectou a presença de aflatoxinas totais a partir da avaliação de cerca de 40 kg de castanhas-do-brasil, provenientes de uma processadora localizada no Estado do Pará da safra de abril de 2010.

Em marcas obtidas no comércio de Rio Branco - Acre foram detectadas a presença de aflatoxinas totais, 0,81 µg/kg, 1,21 µg/kg e 0,55 µg/kg nas marcas A, B e C respectivamente. Embora tenha sido encontrada contaminação por aflatoxinas, os valores estavam dentro do recomendado pela ANVISA (ÁLVARES et al., 2012).

Calderari et al. (2013) avaliou amostras de aproximadamente 2 kg em diferentes etapas da cadeia produtiva da castanha-do-brasil, e obteve nas amostras mais contaminadas os valores para aflatoxinas totais de 18,10 µg/kg para castanha com casca coletada na floresta. Em plantas de processamento 71,91 µg/kg para castanha com casca antes da classificação e 80,63 µg/kg para castanhas com casca após a classificação. Em amostra proveniente do supermercado um valor de 0,98

µg/kg, e em mercado de rua 151,14 µg/kg para castanha com casca e 139,56 µg/kg sem casca.

A variação entre os resultados encontrados nas repetições das amostras em cada ponto do processamento deste estudo, tanto como em comparação com os resultados de outros trabalhos, confirmam que a detecção ou ausência, bem como a quantidade em µg/kg de aflatoxinas é dependente a contaminação inicial e da amostragem realizada.

Porém como observado nos resultados houve uma redução significativa na concentração de aflatoxinas totais na obtenção de amêndoa desidratada, ou seja, as etapas de beneficiamento de seleção e classificação surtiram efeitos positivos. O mesmo foi obtido em estudo de comparação do processo de seleção manual de castanha-do-brasil com seleção automática, realizado por Pacheco e Martins (2013) com amostras da safra de 2010 e 2011, nos dois métodos foi verificada diferença na concentração de aflatoxinas inicial e após seleção. Na seleção manual, as amostras de castanha-do-brasil com casca apresentaram valor médio de 14,9 µg/kg; na casca 15,0 µg/kg, castanha sem casca 1,1 µg/kg e na amêndoa selecionada 3,0 µg/kg. Para o processamento com seleção automática, a castanha em casca apresentou 7,7 µg/kg, na casca 13,6 µg/kg, castanha sem casca 1,6 µg/kg e na amêndoa selecionada 4,4 µg/kg.

No trabalho de Calderari et al. (2013) também foram obtidos resultados satisfatórios após a classificação de 8,0 µg/kg antes do processo para 0,1 µg/kg após. Neste mesmo estudo o autor descreve uma redução em torno de 98% na contaminação inicial de aflatoxinas após secagem a 60 ° C durante 30 - 36 h.

Estes resultados mostram que o processamento é um aliado para diminuir a contaminação por estes metabólitos, quando estiverem presentes nas castanhas. Porém, a seleção visual realizada, mesmo que criteriosa, ou automática remove as castanhas oxidadas, mofadas, danificadas, entretanto, outras amêndoas podem estar contaminadas, pois as aflatoxinas são metabólitos que não apresentam coloração, aroma e sabor (PHILLIPS; PURCELL; STANLEY, 1980). Por isso, mesmo após a etapa de classificação e seleção foi detectada aflatoxinas nas amostras de amêndoas desidratadas.

Programas de controle de qualidade vêm sendo desenvolvidos e implementados para prevenir a contaminação de aflatoxinas em castanhas, como o Manual de segurança e qualidade para a cultura da castanha-do-brasil (SOUZA;

CARTAXO; LEITE, 2004), desenvolvido pela Embrapa, porém se os programas de pré-requisitos no manejo, transporte e armazenamento, não estiverem funcionando de forma eficaz para fornecer uma matéria-prima de qualidade, os programas internos de qualidade das indústrias processadoras não surtirão efeitos na contaminação por aflatoxinas (FAO, 2001; SOUZA; CARTAXO; LEITE, 2004).

Embora atualmente seja possível observar a preocupação dos órgãos responsáveis, pesquisadores e processadoras de castanha-do-brasil em melhorar esta cadeia, as atuais condições de manejo e processamento ainda são insuficientes para garantir uma produção com níveis seguros de contaminação por aflatoxinas (BITTENCOURT; DIAS; ALVARES, 2012). Principalmente quando os níveis iniciais de contaminação por aflatoxinas são elevados, como os encontrados nesta pesquisa.

4.4 Conclusões

Nesta pesquisa as concentrações iniciais de contaminação por aflatoxina estavam cerca de 17 vezes superior ao limite estabelecido na legislação brasileira e aproximadamente 22 vezes superior à legislação Europeia. Embora as etapas do processamento de castanha-do-brasil tenham contribuído com a redução da contaminação inicial por aflatoxinas, média de 334,3 µg/kg na castanha *in natura* para 44,7 µg/kg na amêndoa desidratada, o processamento não pode garantir que a concentração de aflatoxinas na etapa final do processo esteja dentro dos limites das legislações brasileira, europeia e do *Codex Alimentarius* para comercialização e consumo, principalmente se a contaminação na castanha *in natura*, utilizada como matéria-prima para a indústria processadora, for alta.

Referências

ÁLVARES, V.S.; CASTRO, I.M.; COSTA, D.A.; LIMA, A.G.; MADRUGA, A.L.S. Qualidade da castanha-do-brasil do comércio de Rio Branco, Acre. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 42, n. 2, p. 269-274, 2012.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods analysis of AOAC international**. 17th ed. Washington, 2005. 1888 p.

BAQUIÃO, A.C.; ZORZETE, P.; REIS, T.A.; ASSUNÇÃO, E.; VERGUEIRO, S.; CORREA, B. Mycoflora and mycotoxins in field samples of Brazil nuts. **Food Control**, Vurrey, v. 28, n. 1, p. 224-229, 2012.

BETINA, V. **Mycotoxins**: production, isolation, separation, and purification. Amsterdam: Elsevier, 1984. 528 p.

BENNET, J.W.; KLICH, M. Mycotoxins. **Clinical Microbiology Reviews**, Washington, v. 16, n. 3, p. 497-516, 2003.

BITTENCOURT, D.; DIAS, J.A.; ALVARES, V.S. Micotoxinas em amêndoas da castanha-do-brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA TROPICAL, 45., 2012, Manaus. **Anais... Brasília, DF: Tropical Plant Pathology**, 2012. 1 CD-ROM.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 11, de 22 de março de 2010. Dispõe sobre os critérios e procedimentos para o controle higiênico-sanitário da castanha-do-brasil e seus subprodutos, destinados ao consumo humano no mercado interno, na importação e na exportação, ao longo da cadeia produtiva. **Diário Oficial da União**, Brasília, 23 mar. 2010. Seção 1, p. 1-7.

_____. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 7, de 18 de fevereiro de 2011. Dispõe sobre o regulamento técnico sobre limites máximos tolerados (LMT) para micotoxinas em alimentos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 09 mar. 2011. Seção 1, p. 66-67.

CALDERARI, T.O.; IAMANAKA, B.T.; FRISVAD, J.C.; PITT, J.I.; SARTORI, D.; PEREIRA, J.L.; FUNGARO, M.H.P.; TANIWAKI, M.H. The biodiversity of *Aspergillus* section Flavi in brazil nuts: from rainforest to consumer. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 160, n. 3, p. 267-272, 2013.

CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION. Code of practice for the prevention and reduction of aflatoxins contamination in tree nuts. **Codex Alimentarius Comission/Coordinated Research Project**, Amsterdam, v. 59, p. 1-9, 2006.

_____. **Proposed draft maximum levels for total aflatoxins in Brazil nuts**: joint FAO/WHO food standards programme. Rotterdam, 2009. 3 p.

_____. **Proposed draft revision of the additional measures for the prevention and reduction of aflatoxin contamination in Brazil Nuts**: ALINORM 10/33/41—Appendix VI Joint FAO/WHO Food Standards Program. Rome: FAO, 2010. 58 p.

COMMISSION regulation (EU) nº 401/2006 of 23 February 2006. Laying down the methods of sampling and analysis for the official control of the levels of mycotoxins in foodstuffs. **Official Journal of the European Union**, Estrasburgo, L. 70, p. 12-34, 2006.

COMMISSION regulation (EU) n° 178/2010 of 2 March 2010. Amending regulation (EC) n° 401/2006 as regards groundnuts (peanuts), other oil seeds, tree nuts, apricot kernels, liquorice and vegetable oil. **Official Journal of the European Union**, Estrasburgo, L.52, p. 32-43, 2010.

COMMISSION regulation (EU) n° 165/2010 of 26 February 2010. Amending regulation (EC) n° 1881/2006 setting maximum level. **Official Journal of the European Union**, Estrasburgo, L. 50, p. 8-12, 2010.

COUNCIL FOR AGRICULTURAL SCIENCE AND TECHNOLOGY. **Mycotoxins: risks in plant, animal, and human systems**. Ames, 2003, 109 p.

DUTTON, M.F.; HEATHCOTE, J.G. Two new hydroxyaflatoxins. **Biochemical Journal**, San Diego, v. 101, n. 1, p. 21-22, 1966.

FAO. **Manual on the application of the HACCP system in mycotoxin prevention and control**. Rome: FAO, 2001. 124 p. (Food and Nutrition Paper, 73).

FREIRE, F.C.O.; VIEIRA, I.G.P.; GUEDES, M.I.F.; MENDES, F.N.P. **Micotoxinas: importância na alimentação e na saúde humana e animal**. Fortaleza: Embrapa, Agroindústria Tropical, 2007. 38 p. (Documento, 110).

GOURAMA, H.; BULLERMAN, L.B. *Aspergillus flavus* and *Aspergillus parasiticus*: aflatoxigenic fungi of concern in foods and feeds; a review. **Journal of Food Protection**, Des Moines, v. 58, n. 12, p. 1395-1404, 1995.

HAYES, A.W. Biological activities of mycotoxins. **Mycopathologia**, Albany, v. 65, n. 1/3, p. 29-41, 1978.

JAY, J.M. Doenças de origem alimentar: micotoxinas. In: _____. **Microbiologia de alimentos**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005. p. 633-646.

KARMAS, E.E. Techniques for measurement of moisture content of foods. **Food Technology**, Chicago, v. 34, n. 4, p. 52-59, 1980.

KUIPER-GOODMAN, T. Approaches to the risk analysis of mycotoxins in the food supply. **Food Nutrition and Agriculture**, Geneve, n. 23, p. 10-16, 1999.

LEE, N.A.; WANG, S.; ALLAN, R.D.; KENNEDY, I.R. A rapid aflatoxin B1 ELISA: development and validation with reduced matrix effects for peanuts, corn, pistachio, and soybeans. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 52, n. 10, p. 2746-2755, 2004.

MARTINS, M.; PACHECO, A.M.; LUCAS, A.C.S.; ANDRELLO, A.C.; APPOLONI, C.R.; XAVIER, J.J.M. Brazil nuts: determination of natural elements and aflatoxin. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 42, n. 1, p. 157-164, 2012.

MUNINBAZI, C.; BULLERMAN, L. Molds and mycotoxins in foods from Burundi. **Journal of Food Protection**, Des Moines, v. 59, n. 8, p. 869-875, 1996.

MURPHY, P.A.; HENDRICH, S.; LANDGREN, C.; BRYANT, C.M. Food mycotoxins: an update. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 71, n. 5, p. 51-65, 2006.

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. **Micotoxinas**. Washington, 1983. 131 p. (Critérios de la Salud ambiental, 11).

PACHECO, A.M.; MARTINS, M. Brazil nut sorting for aflatoxin prevention: a comparison between automatic and manual shelling methods. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 33, n. 2, p. 369-375, 2013.

PHILLIPS, D.J.; PURCELL, S.L.; STANLEY, G.I. **Aflatoxins in almonds**. Fresno: USDA, Science and Education Administration, Agricultural Reviews and Manuals, 1980. 12 p.

PITT, J.I.; HOCKING, A.D. *Aspergillus* and related teleomorphs. In: _____. **Fungi and food spoilage**. New York: Springer, 2009. p. 275-337.

SAS INSTITUTE. **SAS 9.1.3**: help and documentation. Cary, 2000-2004.

SANTOS, O.V.; CORRÊA, N.C.F.; LANNES, S.C.S. Caracterização física, físico-química, microbiológica e micotoxicológica da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H. B. K). **Revista Illuminart**, Sertãozinho, v. 1, n. 7, p. 48-59, 2011.

SCOTT, R.E. Differentiation, differentiation gene therapy and cancer. **Pharmacology & Therapeutics**, Oxford, v. 73, n. 1, p. 51-65, 1997.

SCUSSEL, M.V. **Micotoxinas em alimentos**. Florianópolis: Insular, 1998. 144 p.

SOUZA, M.L.; CARTAXO, C.B.C.; LEITE, F.M.N. **Manual de segurança e qualidade para a cultura da castanha-do-Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 61 p.

SPENCER, E.R. Decay of Brazil nuts. **The Botanical Gazette**, Chicago, v. 72, n. 5, p. 265-288, 192.

SWEENEY, M.J.; DOBSON, A.D.W. Mycotoxin production by *Aspergillus*, *Fusarium* and *Penicillium* species. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 43, n.1, p. 141-158, 1998.

TANIWAKI, M.H.; SILVA, N. **Fungos em alimentos: ocorrência e detecção**. Campinas: ITAL, 2011. 88 p.

TRUCKSESS, M; WEAVER, C; OLES, C; D'OIDIO, K; RADER, J. Determination of aflatoxins and ochratoxin A in ginseng and other botanical roots by immunoaffinity column cleanup and liquid chromatography with fluorescence detection. **Journal of AOAC International**, Urbana, v. 89, n. 3, p. 624-630, 2006.

WHITAKER, T.B. Sampling food for mycotoxins. **Food Additives and Contaminants**, London, v. 1, n. 23, p. 50-61, 2006.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Face à valorização e importância da extração de castanha-do-brasil para o mercado regional da Floresta Amazônica, o mercado nacional e também internacional, torna-se evidente que uma boa estruturação da cadeia produtiva é fundamental para o fornecimento de um produto com qualidade nutricional e sanitária. Entretanto, apesar de programas de conscientização e da elaboração de legislações que visem controlar e definir padrões para a melhoria destes quesitos, o oferecimento desta *commodity* extrativista atendendo aos modelos de qualidade ainda é um desafio aos produtores de castanha.

O processamento caracteriza-se como ferramenta influente para agregar valor à castanha-do-brasil, pois melhora a qualidade do produto final. Contudo, ainda que o beneficiamento mantenha as qualidades nutricionais e da fração lipídica das castanhas, quando a concentração inicial da contaminação por aflatoxinas for elevada, o efeito benéfico do processamento não é capaz de reduzir a contaminação por aflatoxinas em níveis aceitáveis.

A integração da cadeia produtiva com uma melhor organização nas etapas de coleta, manejo, transporte e armazenamento das castanhas, além da redução no tempo de envio para as indústrias processadoras até o momento constitui-se a melhor estratégia para fornecer uma matéria-prima de qualidade para as beneficiadoras de castanha-do-brasil. Porém, novos estudos são necessários para desenvolver melhorias nesta cadeia produtiva.