

CASTANHA-DA-AMAZÔNIA

ESTUDOS SOBRE A ESPÉCIE E SUA CADEIA DE VALOR

PÓS-COLETA E TECNOLOGIA
DE ALIMENTOS

Volume 2

OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL



Lúcia Helena de Oliveira Wadt
Julianna Fernandes Marocco
Marcelino Carneiro Guedes
Kátia Emídio da Silva

Editores Técnicos

Embrapa 50 ANOS

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Rondônia
Ministério da Agricultura e Pecuária*

Castanha-da-amazônia

Estudos sobre a espécie e sua
cadeia de valor

Pós-coleta e tecnologia de alimentos
Volume 2

*Lúcia Helena de Oliveira Wadt
Julianna Fernandes Marocco
Marcelino Carneiro Guedes
Kátia Emídio da Silva*

Editores técnicos

*Embrapa
Brasília, DF
2023*

Embrapa

Parque Estação Biológica
Av. W3 Norte (final)
70770-901 Brasília, DF
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Responsável pelo conteúdo e edição

Embrapa Rondônia
BR 364 Km 5,5, Caixa Postal 127
76815-800 Porto Velho, RO

Comitê Local de Publicações

Presidente

Pedro Gomes da Cruz

Secretário-executivo

Antônio Carlos Santana de Jesus

Membros

Victor Ferreira de Souza

Yara Santos Cioffi

Davi Melo de Oliveira

Maurício Reginaldo Alves dos Santos

Wilma Inês de França Araújo

Supervisão editorial

Lúcia Helena de Oliveira Wadt

Revisão de texto

Wilma Inês de França Araújo

Normalização bibliográfica

Renata do Carmo França Seabra

Foto da capa

Lúcia Helena de Oliveira Wadt

Editoração eletrônica

André Luiz Garcia

1ª edição

Publicação digital (2023): PDF

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Acre

Castanha-da-amazônia : estudos sobre a espécie e sua cadeia de valor : pós-coleta e tecnologia de alimentos / Lúcia Helena de Oliveira Wadt, Julianna Fernandes Marocolo, Marcelino Carneiro Guedes, Kátia Emídio da Silva, editores técnicos. – Brasília, DF: Embrapa, 2023.
v. 2 (PDF 113 p.). il. color.

ISBN 978-65-89957-92-8 v. 2.

1. Castanha-da-amazônia - Extrativismo. 2. *Bertholletia excelsa*. 3. Bioeconomia. 4. Sociobiodiversidade. 5. Manejo. 6. Cultivo. I. Wadt, Lucia Helena de Oliveira. II. Marocolo, Julianna Fernandes. III. Guedes, Marcelino Carneiro. IV. Silva, Kátia Emídio da. V. Embrapa Rondônia.

CDD (21. ed.) 634.575

Editores Técnicos e Autores

André Rodrigues dos Reis

Agrônomo, doutor em Plant Science, professor da Universidade do Estado de São Paulo, Escola de Ciências e Engenharia, Tupã, SP

Bruna Zavarize Reis

Nutricionista, doutora em Ciência dos Alimentos, professora adjunta da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN

Cleísa Brasil da Cunha Cartaxo

Engenheira-agrônoma, mestre em Ciências Horticólicas, pesquisadora da Embrapa Acre, Rio Branco, AC

Daniel Augusto Schurt

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitopatologia, pesquisador da Embrapa Roraima, Boa Vista, RR

Ediu Carlos da Silva Junior

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo/Engenharia de Biociência, coordenador de desenvolvimento de mercado na empresa ICL América do Sul, Vilhena, RO

Guilherme Lopes

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, professor na Universidade Federal de Lavras (UFLA), Departamento de Ciência do Solo, Lavras, MG

Graziela Biude Silva Duarte

Nutricionista, doutora em Ciência dos Alimentos, professora do Centro Universitário São Camilo, São Paulo, SP

Hyanameyka Evangelista de Lima Primo

Engenheira-agrônoma, doutora em Fitopatologia, pesquisadora da Embrapa Roraima, Boa Vista, RR

Joana Maria Leite de Souza

Engenheira-agrônoma, doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, pesquisadora da Embrapa Acre, Rio Branco, AC

Julianna Fernandes Marocolo

Engenheira florestal, mestre em Ciências de Florestas Tropicais, assessora técnica do Observatório Castanha-da-Amazônia, Brasília, DF

Jurema do Socorro Azevedo Dias

Engenheira-agrônoma, doutora em Biodiversidade e Biotecnologia, pesquisadora da Embrapa Amapá, Macapá, AP

Katia Emídio da Silva

Engenheira florestal, doutora em Ciências Florestais, pesquisadora da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM

Laura Figueiredo Abreu

Química industrial, doutora em Tecnologia de Alimentos, pesquisadora da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA

Lúcia Helena de Oliveira Wadt

Engenheira florestal, doutora em Genética e Melhoramento de Plantas, pesquisadora da Embrapa Rondônia, Porto Velho, RO

Luiz Roberto Guimarães Guilherme

Engenheiro-agrônomo, doutor em Crop & Soil Science/Environment Toxicology, professor na Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciência do Solo, Lavras, MG

Marcelino Carneiro Guedes

Engenheiro florestal, doutor em Recursos Florestais, pesquisador da Embrapa Amapá, Macapá, AP

Marcus Arthur Marçal de Vasconcelos

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência de Alimentos, pesquisador da Embrapa Acre, Rio Branco, AC

Maria do Socorro Souza Ribeiro

Engenheira de alimentos, mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos, supervisora de qualidade na Rajá Frutas, Castanhal, PA

Otniel Freitas-Silva

Engenheiro-agrônomo, doutor em Engenharia Química e Biológica, pesquisador da Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro, RJ

Rivaldalve Coelho Gonçalves

Engenheiro florestal, doutor em Fitopatologia, pesquisador da Embrapa Acre, Rio Branco, AC

Roberta Martins Nogueira

Engenheira agrícola e ambiental, doutora em Engenharia Agrícola e de Biosistemas, professora associada da Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, MT

Sílvia de Carvalho Campos Botelho

Engenheira-agrônoma, doutora em Engenharia Agrícola, pesquisadora da Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop, MT

Sílvia Maria Franciscato Cozzolino

Nutricionista, doutora em Ciências dos Alimentos, professora titular da Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP

Virgínia de Souza Álvares

Engenheira-agrônoma, doutora em Fitotecnia, pesquisadora da Embrapa Acre, Rio Branco, AC

“A sabedoria da natureza é tal que não produz nada de supérfluo ou inútil”.

Nicolau Copérnico

Dedicamos esta obra a todos os que trabalham com pesquisa, ensino, extensão rural, e especialmente aos povos e comunidades que vivem na Amazônia e conservam a majestosa castanheira.

Agradecemos aos colegas pesquisadores e analistas da Embrapa e de Instituições parceiras, incluindo estudantes e técnicos que contribuíram para a realização desta obra onde estão compilados resultados de estudos sobre a castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), e especialmente para este volume que trata de aspectos da pós-coleta e produtos derivados da castanha-da-amazônia relacionados à sua cadeia de valor.

Agradecemos também a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta obra, especialmente aos produtores extrativistas e gestores de Unidades de Conservação que compartilharam suas casas, conhecimentos e motivaram a maioria dos estudos realizados.

Apresentação

A castanha-da-amazônia é um dos principais produtos do agroextrativismo brasileiro, ocupando o terceiro lugar em importância para produtos alimentícios. Envolve mais de 60 mil famílias de povos e comunidades tradicionais, cerca de 100 organizações comunitárias (cooperativas, associações e agroindústrias), e aproximadamente 60 empresas de beneficiamento e comercialização nacionais. É uma castanha que possui demanda crescente – aumentou em 700% nos últimos 15 anos – e um mercado mundial que movimentou de US\$ 300 a US\$ 400 milhões (R\$ 1,5 a R\$ 2,0 bilhões) por ano, em sua maior parte para a castanha descascada e beneficiada. Apesar de o Brasil ser o maior produtor primário da castanha-da-amazônia, ocupa o 6º lugar no mercado internacional, sendo a Bolívia o maior produtor de castanha beneficiada, com quase 50% do mercado. Vários estudos científicos têm sido conduzidos com a espécie *Bertholletia excelsa*, árvore que produz a castanha-da-amazônia, conhecida como castanheira, e com seus produtores, os castanheiros. No entanto, muitas informações estão disponibilizadas somente em linguagem científica e divulgadas em meios internacionais, ou estão dispersas em diversas formas de divulgação, dificultando o acesso e uso dos resultados em políticas públicas e por agentes envolvidos na cadeia de valor dessa castanha tais como órgãos do governo, ONGs, produtores e empresas. Esta obra, composta por quatro volumes, reuniu resultados de pesquisa e informações relevantes para a cadeia produtiva da castanha-da-amazônia, em linguagem acessível ao público em geral, embora não tenha esgotado o assunto. Com isso, esperamos facilitar o uso das informações disponíveis no fomento à políticas públicas, a produção e comercialização da castanha-da-amazônia, assim como a valorização dos serviços ecossistêmicos e ambientais prestados pelas florestas com castanheiras e pelos seus produtores castanheiros. Acreditamos que uma densa quantidade de informações, reunidas em uma única obra, proporcionará maior efetividade na apropriação dos resultados de pesquisas pelos principais atores dessa importante cadeia de valor. Assim, esperamos que esses quatro volumes sirvam de orientação para profissionais das áreas agrárias, econômica e de alimentos; estudantes universitários; empresas, órgãos públicos responsáveis pela gestão florestal e regulamentação; extensionistas; organizações de classe; agências de fomento e de crédito rural; dentre outros.

Ana Margarida Castro Euler

Diretora-Executiva de Negócios da Embrapa

Prefácio

O Projeto Bem Diverso tem o prazer de apoiar a publicação deste box com quatro volumes, o qual reúne resultados de uma diversidade de pesquisas sobre a castanheira-da-amazônia, também conhecida como castanheira-do-brasil, castanheira-do-pará, *Brazil nut* ou, na nomenclatura botânica, *Bertholletia excelsa* Bonpl. Neste conjunto de livros, vislumbramos que a castanheira, uma das maiores árvores da Amazônia, com mais de 50 m de altura e 2 m de diâmetro, não é só “excelsa” por seu porte, mas também por sua importância socioambiental, em que sustenta uma cadeia produtiva que envolve milhares de famílias de extrativistas. Descobrimos, a partir das informações reunidas – muitas delas pouco conhecidas pelo público leigo ou até pelos técnicos que trabalham com questões socioambientais e socioeconômicas amazônicas, ou, ainda, por aqueles que lidam com temas relacionadas à nutrição e à saúde – que é nessa gigante da floresta que repousa uma importante chave para o futuro sustentável da Amazônia.

A divisão desta obra em volumes procura equilibrar a discussão sobre aspectos da biologia e ecologia da castanheira com diversas questões ligadas à coleta e ao mercado de sua amêndoa, a castanha propriamente dita, o que vem sendo convencionado de “cadeia de valor”. Embora esses diversos temas sejam interconectados, o que torna difícil uma divisão totalmente satisfatória, um exercício de separação por temas se fez necessário para facilitar o acesso e o entendimento do leitor. Assim, o Volume I trata dos aspectos sociais, econômicos e organizacionais da cadeia de valor da castanha-da-amazônia; enquanto o Volume 2 trata de outro aspecto da cadeia, que é a pós-coleta e a tecnologia de alimentos. Já o Volume 3 trata da ecologia e do manejo de castanhais nativos; e o Volume 4, do melhoramento genético e cultivo da castanheira – temas fundamentais para a inclusão da espécie em sistemas produtivos locais.

Neste conjunto de quatro livros, o leitor vai encontrar informações sobre a história do comércio da castanha, desde os tempos coloniais; aspectos relacionados às restrições de mercado devido a qualidade; boas práticas de higienização e sanitização de frutos e sementes, desde a colheita até o armazenamento; características nutricionais e principais estudos sobre produtos à base de castanha; a relação de fatores bióticos e abióticos com a distribuição da espécie na Amazônia, bem como a influência desses fatores na produção de frutos; análise da diversidade genética de populações nativas de castanheira em toda a Amazônia; e aspectos da ecofisiologia da castanheira, e sua potencialidade para o cultivo.

Em um olhar rápido, podemos dizer que o caso da castanha-da-amazônia é um exemplo da tão procurada bioeconomia, com um produto da Floresta Amazônica que ganha qualidade e amplia espaços nos mercados por meio de inovações tecnológicas que agregam valor aos produtos derivados. No entanto, reconhece-se que essas melhorias resultam, em grande parte, do trabalho conjunto e paciente de organizações da sociedade civil, desde locais, inclusive internacionais, o que tem mudado paradigmas quanto à exploração dos recursos naturais e aos direitos das populações tradicionais, bem como apoia a incorporação dessas questões em políticas públicas. Ou seja, a bioeconomia, ou melhor, a economia da sociobiodiversidade no futuro da Amazônia não é só uma questão de mais pesquisa, investimentos e modernização, mas exige atenção a toda dimensão social; valorização do trabalho, de conhecimentos e da cultura dos povos da floresta; e reconhecimento de seus direitos sociais e territoriais.

A castanheira, portanto, merece papel central nos esforços brasileiros para dialogar com iniciativas como a “Década da Restauração”, da Organização das Nações Unidas (ONU), e a Declaração dos Líderes de Glasgow sobre Florestas e Uso do Solo, da penúltima Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (COP-26), que estabelece a importância de não só frear o desmatamento, como também promover a restauração de florestas e paisagens, e que foi mantida na COP-27.

Por fim, podemos dizer que os variados estudos apresentados nesta coleção de quatro volumes convergem para apontar a castanheira como elemento fundamental para pensar o futuro da Amazônia como paisagem rural sustentável, além de atenderem a cinco objetivos de desenvolvimento sustentável, da ONU, especificamente os ODS 2 - Fome zero e agricultura sustentável, ODS 3 - Saúde e bem estar, ODS 8 - Trabalho decente e crescimento econômico, ODS 11 - Cidades e comunidades sustentáveis, ODS 12 - Consumo e produção sustentável, ODS 13 - Ação contra a mudança global do clima e o ODS 17 - Parcerias e meios de implementação. Assim, o objetivo é equilibrar a conservação da natureza, por meio da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos, sem perder de vista o bem-estar humano, das gerações atuais e futuras.

Robert P. Miller

Assessor técnico do Instituto Sociedade, População e Natureza (ISPN)

Sumário

Capítulo 1

Fungos e micotoxinas: estratégias de controle 17

Capítulo 2

Tecnologias de pré-secagem e armazenamento..... 37

Capítulo 3

Composição nutricional de amêndoas e do óleo..... 67

Capítulo 4

Intervenções nutricionais em diferentes contextos de saúde e doença 81

Capítulo 5

Selênio: caracterização, variação dos teores e efeitos benéficos..... 99

Capítulo 1

Fungos e micotoxinas: estratégias de controle

Maria do Socorro Souza Ribeiro; Rivadalve Coelho Gonçalves; Virgínia de Souza Álvares; Jurema do Socorro Azevedo Dias; Laura Figueiredo Abreu; Daniel Augusto Schurt; Hyanameyka Evangelista de Lima Primo; Otniel Freitas-Silva

Introdução

As amêndoas de castanha-da-amazônia apresentam sabor agradável e elevado valor nutritivo, o que garante benefícios à saúde. Contudo, devido às condições naturais da floresta, está sujeita a contaminações por microrganismos (Baquião et al., 2012; Cardoso et al., 2017).

Em condições favoráveis, algumas espécies fúngicas podem produzir micotoxinas, que são um amplo grupo de metabólitos secundários fúngicos que exercem múltiplos efeitos tóxicos em humanos e animais. Após ingeridas, em pequenas ou grandes quantidades, as micotoxinas acarretam quadro clínico grave de doenças denominadas micotoxicoses, que podem ser doenças crônicas ou agudas (Peraica, 2016). Os sintomas iniciais da toxicidade aguda são: alta temperatura corporal, vômitos e dor abdominal, seguidos de anorexia, depressão, icterícia, diarreia e fotossensibilidade. Algumas micotoxinas podem causar doenças autoimunes, têm propriedades alergênicas e algumas são teratogênicas, carcinogênicas, mutagênicas, nefrotóxicas ou estrogênicas (Mycotoxins..., 2003). As principais micotoxinas são produzidas pelos gêneros fúngicos *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium* (Marín; Ramos, 2016). Embora centenas de micotoxinas tenham sido descritas, os grupos mais relevantes encontrados em alimentos e rações são as aflatoxinas (AF), ocratoxinas (OTA), fumonisinas (FUM), zearalenona (ZEA), patulina (PAT) e o amplo grupo de tricotecenos. Além disso, há as micotoxinas emergentes, relacionadas ao *Fusarium* (fusaproliferina, moniliformina, beauvericina e eniatiatinas) (Marín et al., 2013).

Na castanha-da-amazônia, em virtude da predominância de espécies do gênero *Aspergillus* seção *Flavi*, as micotoxinas mais recorrentes são as aflatoxinas (Taniwaki

et al., 2017). De forma geral, *Aspergillus flavus* produz somente aflatoxinas B, enquanto *Aspergillus nomius* e *Aspergillus parasiticus* são produtores dos quatro tipos de aflatoxinas (B e G) (Prado et al., 2008). Existem mais de 20 tipos de moléculas de aflatoxinas, embora as mais predominantes sejam as aflatoxinas B₁ (AFB₁), B₂ (AFB₂), G₁ (AFG₁), G₂ (AFG₂), M₁ (AFM₁) e M₂ (AFM₂). Aflatoxinas dos grupos B e G são tipicamente relatadas em produtos alimentares (cereais, especiarias e frutos secos), e os produtos do metabolismo de aflatoxinas, como AFM₁ e AFM₂, são verificados no leite (Akhtar et al., 2017).

As principais aflatoxinas podem ser diferenciadas por meio de suas fluorescências. A aflatoxina B₁ (AFB₁) e a aflatoxina B₂ (AFB₂) emitem fluorescência azul (*blue*), e as aflatoxinas G₁ (AFG₁) e G₂ (AFG₂) emitem fluorescência verde (*green*). A AFB₁ é conhecida como um agente natural que representa mais risco à saúde por causa da sua maior toxicidade, sua elevada hepatotoxicidade e seu alto potencial carcinogênico (Marklinder et al., 2005; Veiga et al., 2009; Carvajal, 2013) em humanos e animais, incluindo primatas, pássaros, peixes e roedores (Yu, 2012).

As aflatoxinas são moléculas que, após formadas, dificilmente serão eliminadas, pois são estáveis ao calor, sendo decompostas a temperaturas de cerca de 220 °C (Manual..., 2004; Taniwaki et al., 2017). São destruídas por agentes oxidantes fortes, como cloro e ozônio; em virtude da presença do anel lactona, são susceptíveis à ação de base (Freitas-Silva et al., 2013). Apresentam baixo peso molecular, são bastante solúveis em solventes moderadamente polares, como o clorofórmio, metanol, dimetilsulfóxido, e pouco solúveis em água. Elas são particularmente sensíveis à luz ultravioleta, principalmente quando dissolvidas em soluções polares, e são destruídas por autoclavagem em presença de amônia e por tratamento com hipoclorito (World Health Organization, 1979; Carvajal, 2013).

As consequências de longo prazo do consumo de aflatoxina B₁ (AFB₁) são lesão hepática crônica, cirrose e carcinoma hepatocelular primário (Peraica, 2016). Devido à ação silenciosa das micotoxinas na toxicidade crônica, pela ingestão de pequenas quantidades nos alimentos, a percepção do problema na saúde humana é difusa e requer abordagem preventiva com limites rigorosos, à semelhança do que vem sendo adotado por diversos países e pela comunidade europeia.

A incidência de espécies micotoxigênicas em castanhas é comum. Em estudo sobre a microbiota da castanha-da-amazônia ao longo da sua cadeia produtiva, o gênero *Aspergillus* foi predominante e amplamente identificado; entretanto

as espécies pertencentes ao gênero *Penicillium*, *Eurotium* spp., *Zygomycetes* e fungos dematiáceos também foram encontrados. Espécies pertencentes ao gênero *Aspergillus*, *A. flavus* e *A. parasiticus*, dois fungos com fase saprófitas, tiveram ampla distribuição nas amostras estudadas, com muitos isolados capazes de produzir aflatoxinas, além da neurotoxina ácido ciclopiazônico (Taniwaki et al., 2017). Esses mesmos autores também encontraram outros *Aspergillus* da seção *Flavi*, como *A. arachidicola*, *A. bertholletius*, *A. bombycis*, *A. caelatus*, *A. pseudocaelatus*, *A. pseudonomius*, *A. pseudotamarii* e *A. tamarii*, presentes nas sementes e produzindo algum tipo de micotoxina (Taniwaki et al., 2017). Segundo Midorikawa et al. (2014), as espécies *A. flavus* e *A. nomius* são as mais abundantes em castanha-da-amazônia.

A contaminação por fungos aflatoxigênicos e aflatoxinas pode ocorrer em toda a cadeia produtiva da castanha-da-amazônia; entre os fatores ambientais mais relevantes para a produção de aflatoxinas, estão a temperatura e a umidade relativa do ar (Baquião et al. 2012; Taniwaki et al. 2017). Devido à dificuldade de identificação e eliminação das aflatoxinas após a sua produção, visto que são compostos químicos que não alteram a coloração nem o cheiro dos alimentos, além de altamente resistentes aos tratamentos de desinfecção disponíveis, atualmente o controle desses compostos na cadeia produtiva da castanha está baseado em medidas preventivas para evitar a colonização e o crescimento de fungos aflatoxigênicos nas sementes, bem como a prevalência de condições favoráveis à produção das aflatoxinas. Entre essas medidas, é citada a diminuição do tempo de permanência dos frutos no solo e o controle da umidade e da temperatura do ar no armazenamento (Baquião et al., 2012; Carjaval, 2013).

O controle dos contaminantes em castanhas-da-amazônia é de grande relevância, tanto no contexto econômico quanto para a saúde pública. As exportações de castanha-da-amazônia têm sido bastante prejudicadas devido à dificuldade técnica de produção de amêndoas sem aflatoxinas ou com níveis menores que os estabelecidos como limites aceitáveis em cada país importador. As estratégias atuais de mitigação da contaminação em castanhas-da-amazônia concentram-se em impedir o crescimento fúngico, por meio do atendimento às boas práticas extrativistas e do controle de armazenamento e processamento (Freitas-Silva; Venâncio, 2011; Ribeiro et al., 2020). Diante da importância desse contexto, neste capítulo serão apresentados dados sobre a contaminação de castanhas-da-amazônia e as possíveis estratégias para controle nas fases de pré-coleta e pós-coleta da exploração florestal.

Etapas da coleta e do armazenamento inicial e riscos de contaminação fúngica

A contaminação das castanhas-da-amazônia pode ter início nas árvores, por meio do ataque de animais que podem danificar e depositar microrganismos nos ouriços, os quais são os frutos da castanheira. Contudo, a frequência de fungos micotoxigênicos em sementes dos ouriços coletados na copa das árvores é muito baixa e não representa risco biológico. Devido à impossibilidade de coleta dos ouriços nas árvores, por conta da altura, isso ocorre após a queda natural dos frutos. O contato direto destes por muito tempo com a serapilheira e o solo, que são reservatórios de fungos aflatoxigênicos, é considerado uma via importante de contaminação (Reis et al., 2012). As etapas de transporte e armazenamento, sejam nas comunidades, sejam nas indústrias, também são momentos importantes para o desenvolvimento de diversos microrganismos, como fungos e bactérias (Reis et al., 2012).

O sistema de produção da castanha, por ser predominantemente extrativista em floresta nativa, não envolve investimentos tecnológicos no processo de coleta, amontoa e quebra dos ouriços na unidade produtiva, nem mesmo transporte imediato para armazéns adequados ou diretamente para a indústria de beneficiamento (Manual..., 2004). A mão de obra utilizada na coleta dos ouriços é basicamente familiar ou multifamiliar; a coleta é realizada em grupo, e os ouriços são amontoados em pequenos pátios improvisados dentro da floresta. Após os frutos serem coletados e amontoados, os extrativistas cortam os frutos com facão (“terçado”), foice ou machado no mesmo dia da coleta ou depois de alguns dias, de acordo com a organização do trabalho e o fluxo da coleta. A operação de abertura dos frutos é denominada quebra da castanha, e o dia da operação florestal é conhecido como dia de quebra da castanha. O transporte das sementes do interior da floresta, de onde os ouriços foram quebrados, até a primeira via de melhor acessibilidade, terrestre ou fluvial, pode ser definido como transporte primário do recurso florestal até um ponto de armazenamento temporário (Silva et al., 2013).

Em algumas comunidades, com florestas localizadas próximas aos rios e igarapés, há a lavagem das castanhas para a retirada de impurezas físicas, o que pode também reduzir a população de microrganismos nocivos. Entretanto, se a secagem posterior não for eficiente ou se o armazenamento ocorrer com as castanhas úmidas, o desenvolvimento de fungos aflatoxigênicos será potencializado (Manual..., 2004).

As práticas de armazenamento primário das sementes variam de acordo com a situação. De acordo com Silva et al. (2013), no município de Óbidos, PA, isso é feito na própria residência do produtor, em razão de as áreas de produção estarem mais próximas às casas; praticamente toda a produção é retirada da floresta após a quebra da castanha. Já em Oriximiná, PA, as sementes podem permanecer armazenadas na floresta por um tempo de até 5 meses (período de safra), e o armazenamento fora da floresta, geralmente, é feito em paióis ou depósitos de madeira, com acondicionamento em sacos ou a granel. No Acre, como as áreas de coleta estão próximas das residências, na maioria das localidades, os extrativistas amontoam os ouriços em um dia para quebrá-los e transportar as castanhas no dia seguinte para o armazém. Nesse caso, não existe armazenamento na floresta, e as castanhas passam por uma pré-secagem em armazém pré-secador antes da conservação primária.

Beneficiamento em agroindústrias

Um dos principais desafios do beneficiamento das castanhas-da-amazônia é a adequação dos níveis de contaminação por aflatoxinas a níveis aceitáveis para a comercialização, principalmente no mercado exterior, que é mais exigente (Silva et al., 2013) e protetivo à saúde. Para isso, no beneficiamento, é realizado o tratamento térmico, que tem como principal finalidade a redução da atividade de água das amêndoas, método eficaz no controle de fungos e na produção de aflatoxinas (Pacheco; Scussel, 2007; Varga et al., 2011).

Na etapa de recepção das sementes, é feita a pesagem e uma avaliação visual das castanhas para mensuração da qualidade do produto. A pesagem é necessária para que se tenha uma ideia da quantidade a ser beneficiada, desde a quantidade a ser colocada na autoclave até o resfriamento final (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas, 2007).

Em algumas agroindústrias, é realizado o processo de lavagem, por imersão da castanha-da-amazônia, ainda com casca, em água à temperatura ambiente. A finalidade dessa etapa é a remoção do excesso de matéria orgânica, partículas inorgânicas e folhas que ainda estejam aderidas às castanhas, além de ajudar na identificação de castanhas chochas por diferença de densidade com flutuação. No Manual de Segurança e Qualidade para a Cultura da Castanha-da-Amazônia, é recomendado o controle da água com teor de cloro ativo de 0,5 ppm a 0,8 ppm (partes por milhão) (Manual..., 2004).

Em seguida, as castanhas passam por secagem preliminar, de preferência com auxílio de secadores artificiais (Silva et al., 2013). O controle da umidade inibe o crescimento de microrganismos, sendo recomendado manter a umidade no lote de sementes entre 13% e 15%, como uma faixa limite de segurança segundo o Codex Alimentarius (Codex Alimentarius Commission, 2006).

Depois de secas, as castanhas passam por pré-seleção manual para a retirada de sementes visualmente danificadas ou mofadas (Manual..., 2004). Posteriormente, é realizado o tratamento térmico; este pode ser feito por imersão das sementes com casca em tanques com água em temperatura de 100 °C por 1 minuto a 2 minutos ou por autoclavagem em temperatura de 250 °C por 2 a 5 segundos. O tratamento térmico tem como objetivo a preparação das sementes para o descascamento, pois expande o volume da casca, descola a amêndoa e facilita a quebra da castanha sem danificar as amêndoas (Pacheco; Scussel, 2006).

O processo de quebra do tegumento da semente é realizado pela prensagem com prensa manual ou por impacto em tubo vertical com eixo aletado. Em seguida, as amêndoas são selecionadas e classificadas de acordo com sua integridade física e seu tamanho. A classificação pode ser realizada manualmente ou por meio de equipamento específico, dotado de peneiras cilíndricas horizontais giratórias (Manual..., 2004; Martins et al., 2008). Após esse procedimento, as amêndoas são novamente submetidas à secagem em estufas para a 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 a processos de obtenção de óleo e outros subprodutos (Pacheco; Scussel, 2007; Ouro Verde Amazônia, 2014).

Aspectos da contaminação fúngica

A forma como os ouriços e as sementes são armazenadas pode ser considerada um ponto crítico para a qualidade das castanhas, pois, independentemente da contaminação inicial das sementes, de acordo com a forma e duração do armazenamento, haverá maior ou menor possibilidade de desenvolvimento de fungos produtores de aflatoxinas (Taniwaki et al., 2017). Contudo, não somente os fungos produtores de aflatoxinas são importantes para a qualidade das amêndoas como alimento humano. Outros fungos micotoxigênicos, ou mesmo aqueles que não produzem substâncias tóxicas conhecidas, mas que causam podridão das sementes, são importantes por constituírem a microbiota natural deterioradora

das sementes, a qual precisa ser estabilizada ou preferencialmente eliminada, o mais rápido possível, da matéria-prima que deverá ir ao processamento seguinte. Assim, o teor de umidade das amêndoas no início do armazenamento não pode ser elevado, mesmo que haja correlação negativa com a contaminação por fungos filamentosos totais e potencialmente aflatoxigênicos (Costa et al., 2016).

A diversidade dos fungos que ocorrem nas sementes varia com o tempo de exposição dos frutos no chão da floresta e com as árvores das quais são colhidos; em um estudo realizado em 2006, na Embrapa Acre, em Rio Branco (Figuras 1 e 2), foram detectados 11 gêneros diferentes de fungos em sementes retiradas de frutos colhidos diretamente das árvores, com alta frequência de *Lasiodiplodia theobromae*, patógeno típico de sementes florestais (Gonçalves et al., 2006). Nos frutos mantidos em gaiolas no chão, foram identificados *Acremonium* spp., *Rhizoctonia* spp., *Mycelia sterilia*, *Phaeoacremonium* spp., *Clonostachis* spp., *Penicillium* spp., *Trichoderma* spp., *A. niger* e *A. flavus* (Gonçalves et al., 2006).

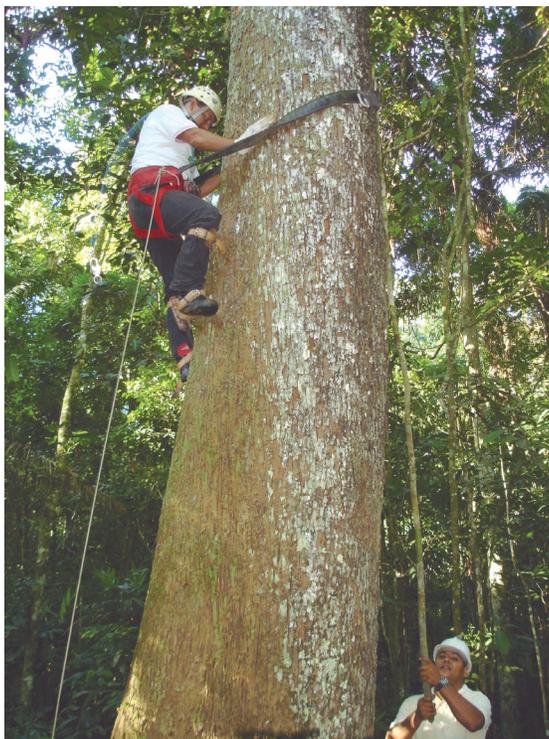


Foto: Rivaldave Coelho Gonçalves

Figura 1. Escalada de uma árvore de castanheira-da-amazônia para coleta de frutos para o estudo de contaminação fúngica x tempo de exposição de frutos no chão da floresta.



Figura 2. Frutos protegidos em gaiolas contra o ataque de fauna (A) e detalhe da coleta dos frutos para envio ao laboratório para análise de fungos (B).

De maneira semelhante à castanha-da-amazônia, nas nozes também é frequente encontrar contaminação fúngica por outras espécies micotoxigênicas de *Aspergillus*, como *A. ochraceus* ou *A. carbonarius*, capazes de produzir nefrotoxina chamada ocratoxina A (OTA) (Marín; Ramos, 2016). Entretanto, entre as micotoxinas conhecidas, as aflatoxinas representam a maior ameaça à saúde humana e animal.

De acordo com Baquião et al. (2013), as castanhas-da-amazônia são substratos susceptíveis à contaminação por fungos produtores de micotoxinas. Nesse sentido, o estudo destaca a etapa de permanência dos ouriços em contato com o solo como principal via de contaminação. Contudo, essa afirmação ainda é controversa, uma vez que Leite et al. (2014) relatam que a incidência de *A. flavus* e *A. parasiticus* não é significativamente afetada pelo tempo de permanência dos ouriços na floresta até 60 dias e que o aparecimento de aflatoxinas pode estar relacionado com práticas pós-coleta, como o armazenamento das castanhas.

A contaminação por fungos produtores de aflatoxinas também é considerada elevada nas usinas de beneficiamento, mesmo com a adoção de medidas como o descascamento e a seleção visual das amêndoas, entre outros procedimentos para a redução dos níveis de contaminação. Desse modo, não é possível afirmar, após o beneficiamento, se a castanha está, ou não, contaminada por aflatoxinas, o que poderá desencadear a necessidade de modificações no processo de produção (Marklinder et al., 2005; Baquião et al., 2012).

Regulamentações vigentes para aflatoxinas

Muitos países adotaram regulamentos para limitar a contaminação de alimentos por micotoxinas. A presença delas não está apenas relacionada ao efeito sobre a saúde do consumidor, mas também ao seu impacto no comércio mundial. Em 2010, a normativa nº 165/2010 da Comissão Europeia trouxe especificações mais tolerantes para a importação da castanha-da-amazônia pelos países europeus associados, com valores de $8 \mu\text{g.kg}^{-1}$ para a AFB₁ e $15 \mu\text{g.kg}^{-1}$ para aflatoxinas totais (AF_t) em castanha-da-amazônia com casca, na fase anterior ao consumo humano ou preparo de alimentos. Para amêndoas destinadas ao consumo direto, o limite é de $5 \mu\text{g.kg}^{-1}$ para a AFB₁ e de $10 \mu\text{g.kg}^{-1}$ de aflatoxinas totais (European Union, 2010).

O regulamento que determina os limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos, incluindo os de aflatoxinas na castanha-da-amazônia, é a RDC nº 487, de 26 de março de 2021 (Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2021). Foram considerados LMT de $20 \mu\text{g.kg}^{-1}$, $10 \mu\text{g.kg}^{-1}$ e $15 \mu\text{g.kg}^{-1}$ para castanhas-da-amazônia com casca, destinadas ao consumo direto; sem casca para consumo direto; e sem casca para processamento posterior, respectivamente. A criação dessa norma representou grande avanço para o mercado nacional e diminuiu o risco de lotes rejeitados no exterior serem comercializados no mercado brasileiro, o que garante maior qualidade do produto e segurança alimentar do consumidor brasileiro.

As medidas para prevenção e redução de contaminação por aflatoxinas (MPRCA) e as medidas de higiene e manejo (MHM) na cadeia produtiva da castanha-da-amazônia são estabelecidas para todas as etapas e fases da cadeia de produção. Elas têm como objetivo prevenir o desenvolvimento dos fungos *A. flavus*, *A. parasiticus* e *A. nomius* e controlar a consequente contaminação por aflatoxinas, bem como o desenvolvimento de outros contaminantes na cadeia produtiva da castanha-da-amazônia (Brasil, 2010). De acordo com Taniwaki et al. (2017), as castanhas que são comercializadas nos supermercados brasileiros e as que são exportadas apresentam baixos níveis de aflatoxinas.

Estratégias para controle de fungos e aflatoxinas

A contaminação das castanhas-da-amazônia tem estimulado o estudo de diversos métodos que visam à eliminação ou redução das concentrações de

fungos micotoxigênicos e aflatoxinas. Estratégias convencionais para redução de micotoxinas incluem mecanismos de prevenção e descontaminação, o que tem sido um desafio contínuo para a indústria de alimentos. Nesse sentido, novos métodos de processamento têm sido continuamente explorados para a obtenção de degradação completa das aflatoxinas em produtos alimentícios (Pankaj et al., 2018).

Estratégias de controle na etapa I – Pré-coleta

O controle de espécies de *Aspergillus* no estágio pré-coleta deve ser preventivo para evitar a infecção ou colonização das sementes, de modo a reduzir a contaminação das castanhas por aflatoxinas. Para isto, recomenda-se a adoção das boas práticas florestais de produção no manejo da castanha-da-amazônia, por exemplo, a redução do tempo de contato dos ouriços com o solo e a seleção das castanhas, em que se eliminam aquelas quebradas e visivelmente deterioradas (Manual..., 2004; Baquião et al., 2012). A coleta precoce com pouco tempo de exposição dos frutos no chão da floresta é uma medida importante para evitar a infecção das sementes por espécies de fungos aflatoxigênicos, conforme estudo realizado por Gonçalves et al. (2006), com a avaliação do tempo de exposição dos frutos no chão da floresta entre 0 dia e 120 dias.

Estratégias de controle na etapa II – Pós-coleta

Nos estágios iniciais da pós-coleta, a separação física das castanhas contaminadas pode ser útil para reduzir os níveis de aflatoxinas em todo o lote (Ismail et al., 2018). No entanto, a efetivação dessa medida requer testes de sanidade de sementes para os fungos deteriorantes de sementes e produtores de aflatoxinas, feitos em laboratório, o que ainda não se implementou no sistema de produção. Adicionalmente, poder-se-ia empregar testes laboratoriais para a detecção de aflatoxinas nas amêndoas por visualização de fluorescência em câmara escura a olho nu, validados com ensaios laboratoriais considerados padrão pelos órgãos oficiais de controle. Magan e Olsen (2004), em estudo para a redução de aflatoxinas em alimentos, destacam o uso da luz ultravioleta (365 nm) para detecção de aflatoxinas em grãos, visto que esses compostos emitem fluorescência quando contaminados com aflatoxinas, o que possibilita a separação de grãos e partículas contaminadas de forma eficaz (Oliveira; Corassin, 2014). Colônias de *A. parasiticus*, *A. nomius*, *A. flavus* e *A. spp.* (134) isolados de castanha-da-amazônia, em teste de fluorescência em meio de cultura, são mostradas na Figura 3.

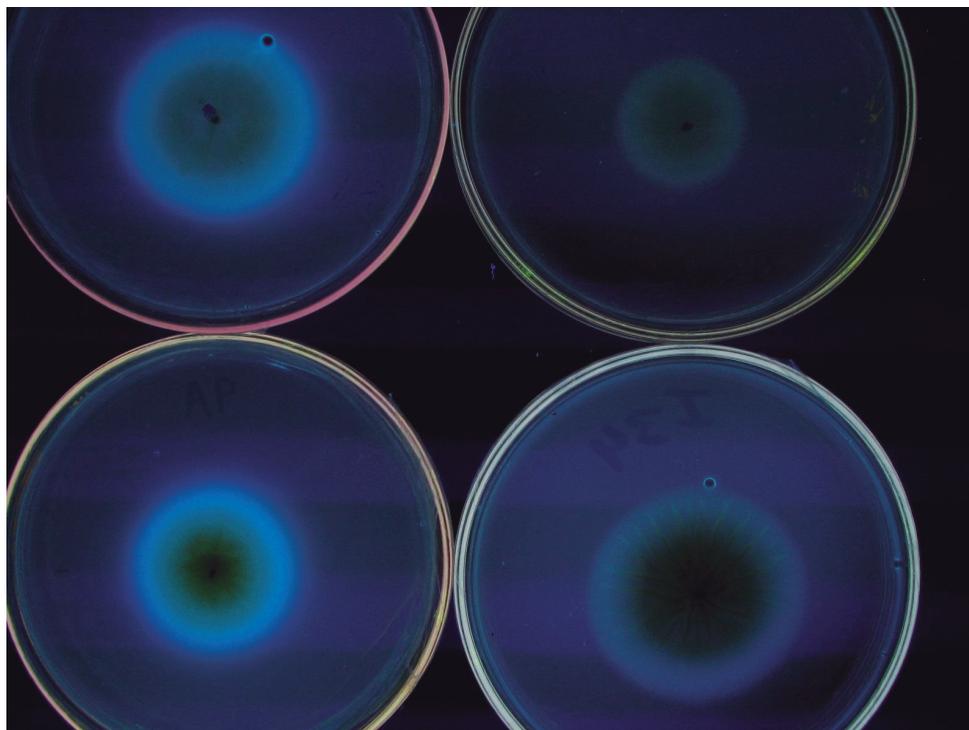


Figura 3. Potencial aflatoxigênico de fungo isolado de castanha-da-amazônia, em teste de fluorescência, em câmara escura com luz ultravioleta (365 nm). *Aspergillus parasiticus* (+), *Aspergillus nomius* (+) e *Aspergillus flavus* (-): isolados de referência por espécie com resultado positivo (+) ou negativo (-). *Aspergillus*. spp. (I34) (+): isolado de castanha-da-amazônia com resultado positivo para produção de aflatoxinas B.

O processo de secagem tradicional da castanha em armazéns-secadores, ainda nas propriedades dos extrativistas, é realizado por revolvimento diário das castanhas com casca por, aproximadamente, 15 dias; isso é considerado uma pré-secagem importante por parte desse elo da cadeia, mas extremamente longo e dependente das condições ambientais. O processo de secagem convencional em equipamentos também pode exigir longos tempos de aplicação, por exemplo, 36 horas em um secador rotativo ou estacionário. Se essa etapa não for executada adequadamente, não haverá garantias quanto às infestações subsequentes durante o armazenamento. Assim, ainda que a secagem convencional possa ser realizada por convecção natural do ar (à sombra ou à luz do sol) e por ar quente, a secagem artificial pode melhorar o desempenho em termos de redução do teor de umidade

e atingir cerca de 9,7% após 48 horas (Gonçalves et al. 2010). Para acelerar o processo, Costa et al. (2017) recomendaram ainda a pré-secagem da castanha, com casca, por meio de um forno por convecção natural. Esse procedimento é eficiente para reduzir a umidade das castanhas em 39,7% em 6 horas de secagem, na temperatura de 45 °C – temperaturas superiores podem rachar a casca da castanha e prejudicar o produto destinado à comercialização com casca.

O armazenamento das castanhas com casca, a qual consiste em barreira de proteção contra a entrada de fungos, deve ser conduzido sob condições ideais de temperatura e umidade (Freitas-Silva; Venâncio, 2010). Para fungos aflatoxigênicos, a faixa ótima de temperatura consiste entre 28° C e 37 °C (Yu, 2012), enquanto o limite de 13% a 15% de umidade é recomendado pelo Codex Alimentarius para inibir o crescimento de microrganismos e garantir a segurança dos alimentos (Codex alimentarius commission, 2006).

Pesquisas para a prevenção de aflatoxinas realizadas na cultura do amendoim sugerem ainda o uso de agentes de biocontrole, melhoramento genético de plantas para a resistência e a previsão de risco de aflatoxinas para colheita precoce. A competição por espaço, água e nutrientes é um mecanismo de biocontrole, que envolve interação entre microrganismos – de um lado, os agentes antagonistas; de outro, os patógenos. Eles competem por recursos e causam a inibição do crescimento e da capacidade de proliferação das populações dos patógenos (Marín; Ramos, 2016). Reduções significativas e consistentes na contaminação por aflatoxinas (entre 70% e 90%) foram observadas em experimentos de campo de amendoim que usaram cepas não toxigênicas de *Aspergillus*. Apesar de estudos sobre o uso do biocontrole em plantios de castanha-da-amazônia não terem sido encontrados na literatura, essa estratégia mostrou-se promissora para outras culturas (Dorner, 2008). No entanto, a contaminação pré-colheita por micotoxinas ainda é altamente dependente das condições climáticas (Marín; Ramos, 2016).

Estratégias de controle na etapa III – Beneficiamento

Tratamento térmico

No processo de beneficiamento da castanha-da-amazônia, é realizada a secagem inicial para reduzir a atividade de água e, conseqüentemente, controlar o crescimento de fungos e a produção de aflatoxinas (Pacheco; Scussel, 2007; Varga et al., 2011). Nesse sentido, o controle da umidade para níveis entre 13%

e 15% inibem o crescimento de microrganismo na castanha (Codex alimentarius commission, 2006).

A secagem convencional com secadores a ar aquecido tem efeito negativo no crescimento fúngico e estanca a atividade de produção de aflatoxina, mas não altera a quantidade de aflatoxinas já existente no lote de sementes devido à elevada estabilidade dessas substâncias. As temperaturas de decomposição das aflatoxinas variam de 237 °C a 306 °C, sendo a AFB₁ a mais estável (Carjaval, 2013) e detectável em amêndoas que passam pelo processo de autoclavagem a 250 °C. A degradação da aflatoxina por operações térmicas foi revisada por Samarajeewa et al. (1990) e Kabak (2009), e ambos constataram a alta estabilidade desses compostos no aquecimento. Apesar da grande estabilidade térmica das aflatoxinas (Jager et al., 2013), a eficiência dos tratamentos térmicos utilizados para a detoxificação de micotoxinas geralmente depende de fatores como temperatura de aquecimento, tempo de exposição, tipo de alimento e teor de umidade (Rustom, 1997).

Ozônio

A aplicação do ozônio (O₃) tem sido apontada como uma das ferramentas mais promissoras para garantir a segurança alimentar (Freitas-Silva; Venâncio, 2010). Sua utilização tem ganhado destaque por ser uma tecnologia ecologicamente amigável e com elevado potencial para redução da carga microbiana e controle de aflatoxinas, o que mostra seu potencial para o tratamento de castanhas-da-amazônia (Freitas-Silva et al., 2013; Ismail et al., 2018; Oliveira et al., 2020).

A utilização do ozônio em alimentos foi aprovada pela Food and Drug Administration (FDA), órgão regulador dos EUA, que o classificou como um produto seguro (GRAS – Generally Recognized As Safe); seu uso também foi aprovado no Canadá, no Japão e na Europa (O'Donnell et al., 2012). A ozonização é um tratamento químico que envolve a exposição dos alimentos ou um produto intermediário ao O₃ e pode ser aplicado na forma gasosa ou dissolvido em solução aquosa. A aplicação de gás é o método mais útil, porém ambos os métodos se mostram eficazes na redução de doenças pós-colheita, na redução da viabilidade de fungos potencialmente produtores de micotoxinas e na degradação destas (Guzel-Seydim et al., 2004; Freitas-Silva; Venâncio, 2011).

Além de ser capaz de inativar microrganismos, o gás ozônio tem sido proposto como agente de degradação para micotoxinas (Cullen et al., 2009), especialmente as aflatoxinas (Alencar et al., 2012; Chen et al., 2014). Nesse contexto, o ozônio atua por ataque direto ou pelo ataque dos radicais hidroxila (OH⁻) formados na decomposição do O₃. A eficiência da ozonização no controle de fungos e espécies que potencialmente produzem aflatoxinas no amendoim foi demonstrada por Alencar et al. (2012) e Chen et al. (2014). Os resultados desses estudos indicaram que o gás ozônio a 21 mg L⁻¹, durante 96 horas de exposição, reduziu até 3 ciclos log de unidades formadoras de colônias de fungos e promoveu reduções de 25% nos níveis de AFB₁.

Giordano et al. (2010) mostraram que o tratamento com O₃ por 5 horas a 31 mg L⁻¹ inibiu a viabilidade de fungos da microbiota contaminadora de nozes, incluindo os *Aspergillus* aflatoxigênicos. Scussel et al. (2011) também relataram o potencial de ozônio gasoso para tratar a castanha-da-amazônia, sendo sua atividade aumentada quando associado ao vácuo. Em estudo desenvolvido por Freitas-Silva et al. (2013), o ozônio mostrou-se eficaz, em baixas dosagens (20 mg L⁻¹) e em curto período de exposição, para a desinfecção de castanhas contaminadas com fungos aflatoxigênicos, e o efeito desse sanitizante foi quase instantâneo.

Em estudo mais recente, desenvolvido por Oliveira et al. (2020), o ozônio mostrou-se eficiente para a inativação de *A. flavus* na castanha-da-amazônia, pois causou redução na contagem de microrganismos superior a 3,10 ciclos log, em concentração de 8,88 mg L⁻¹ e em período de exposição de 4 horas. Aspectos importantes que podem ser citados nesses trabalhos é que o ozônio tem se mostrado eficiente em baixas concentrações para a redução de microrganismos e que mantém as características sensoriais da castanha-da-amazônia (Freitas-Silva et al., 2013; Oliveira et al., 2020).

Considerações finais

A contaminação da castanha-da-amazônia por fungos e micotoxinas é comum e frequente e ocorre ao longo de toda sua cadeia produtiva, principalmente devido às condições de armazenamento inadequadas. O risco à saúde que esses contaminantes apresentam tem justificado a exigência de maior qualidade nos produtos para a exportação e, conseqüentemente, maior fiscalização com relação aos limites regulatórios, inclusive para o Brasil. Em razão da dificuldade

de eliminação de aflatoxinas em condições de processamento industrial, a adoção das boas práticas de produção na exploração florestal das sementes, iniciadas na fase de pré-coleta, seguida de boas práticas de armazenamento, com secagem imediata após a coleta e os tratamentos sanitizantes, podem ser consideradas como as medidas atuais mais apropriadas para controlar fungos deterioradores de sementes e, conseqüentemente, reduzir a contaminação por aflatoxinas em castanhas-da-amazônia. A adoção de tecnologias de coleta, pré-armazenamento, armazenamento e beneficiamento, bem como dos métodos recomendados para a produção de castanhas de alta qualidade, não é homogênea nas áreas de produção na Amazônia e constitui-se em um desafio para os produtores florestais desse importante recurso não madeireiro, os quais ajudam a proteger a floresta primária na Amazônia e têm suas famílias sustentadas economicamente pela floresta.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução RDC nº 487 de 26 de março de 2021. Dispõe sobre os limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos, os princípios gerais para o seu estabelecimento e os métodos de análise para fins de avaliação de conformidade. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 31 mar. 2021, Seção 1. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-rdc-n-487-de-26-de-marco-de-2021-311593455>. Acesso em: 19 jul. 2021.
- AKHTAR, S.; SHAHZAD, M. A.; YOO, S. H.; ISMAIL, A.; HAMEED, A.; ISMAIL, T. Determination of aflatoxin M1 and heavy metals in infant formula milk brands available in Pakistani markets. **Korean Journal for Food Science of Animal Resources**, v. 37, n. 1, p. 79-86, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5851%2Fkosfa.2017.37.1.79>.
- ALENCAR, E. R.; FARONI, L. R. D.; SOARES, N. F. F.; SILVA, W. A.; CARVALHO, M. C. S. Efficacy of ozone as a fungicidal and detoxifying agent of aflatoxins in peanuts. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, n. 4, p. 899-905, Mar. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.4668>.
- BAQUIÃO, A. C.; ZORZETE, P.; REIS, T. A.; ASSUNÇÃO, E.; VERGUEIRO, B. C. Mycoflora and mycotoxins in field samples of Brazil nuts. **Food Control**, v. 28, n. 2, p. 224-229, Dec. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.05.004>.
- BAQUIÃO, A. C.; DE OLIVEIRA, M. M. M.; REIS, T. A.; ZORZETE, P.; ATAYDE, D. D.; CORRÊA, B. Monitoring and determination of fungi and mycotoxins in stored Brazil nuts. **Journal of Food Protection**, v. 76, n. 8, p. 1414-1420, Aug. 2013. DOI: <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-13-005>.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 11, de 22 de março de 2010. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 23 mar. 2010, Seção 1. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/normativos-cgqv/csh_pov/IN11.pdf/view. Acesso em: 27 abr. 2021.
- CARVAJAL, M. Transformación de la aflatoxina B1 de alimentos, en el cancerígeno humano, aducto AFB1-ADN. **TIP: Revista Especializada en Ciências Químico-Biológicas**, v. 16, n. 2, p. 109-120, 2013. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1405-888X\(13\)72082-5](https://doi.org/10.1016/S1405-888X(13)72082-5).

- CARDOSO, B. R.; DUARTE, G. B. S.; REIS, B. Z.; COZZOLINO, S. M. F. Brazil nuts: Nutritional composition, health benefits and safety aspects. **Food Research International**, v. 100, part 2, p. 9-18, Oct. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.08.036>.
- CHEN, R.; MA, F.; LI, P. W.; ZHANG, W.; DING, X. X.; ZHANG, Q.; LI, M.; WANG, Y. R.; XU, B. C. Effect of ozone on aflatoxins detoxification and nutritional quality of peanuts. **Food Chemistry**, v. 146, p. 284-288, Mar. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.059>.
- CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION. **CAC/RCP 59-2005**: code of practice for the prevention and reduction of aflatoxinas contamination in tree nuts. Rome, Italy, 2006. 9 p.
- COSTA, D. A.; ÁLVARES, V. S.; NOGUEIRA, R. M.; KUSDRA, J. F.; MACIEL, V. T.; MIQUELONI, D. P. Quality of Brazil nuts stored in forced aeration silos. **Revista Ceres**, v. 63, n. 3, p. 305-314, maio/jun. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201663030005>.
- COSTA, D. A.; ÁLVARES, V. S.; KUSDRA, J. F.; NOGUEIRA, R. M.; MACIEL, V. T.; MIQUELONI, D. P. Quality of in-shell Brazil nuts after drying using a pilot natural convection oven in the state of Acre, Brazil. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, p. e2015104, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.10415>.
- CULLEN, P. J.; TIWARI, B. K.; O'DONNELL, C. P.; MUTHUKUMARAPPAN, K. Modelling approaches to ozone processing of liquid foods. **Trends in Food Science & Technology**, v. 20, n. 3-4, p. 125-136, Apr. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.01.049>.
- DORNER, J. W. Management and prevention of mycotoxins in peanuts. **Food Additives & Contaminants**: Part A, v. 25, n. 2, p. 203-208, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1080/02652030701658357>.
- EUROPEAN UNION. Commission Regulation (EU) n°165/2010 of 26 February 2010 amending Regulation (EC) n° 1881/2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs as regards aflatoxins. **Official Journal of the European Union**, v. L50, p. 8-12, 2010.
- FREITAS-SILVA, O.; VENÂNCIO, A. Ozone applications to prevent and degrade mycotoxins: a review. **Drug Metabolism Reviews**, v. 42, n. 4, p. 612-620, Nov. 2010. DOI: <https://doi.org/10.3109/03602532.2010.484461>.
- FREITAS-SILVA, O.; VENÂNCIO, A. Brazil nuts: benefits and risks associated with contamination by fungi and mycotoxins. **Food Research International**, v. 44, n. 5, p. 1434-1440, June 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.047>.
- FREITAS-SILVA, O.; MORALES-VALLE, H.; VENÂNCIO, A. Potential of aqueous ozone to control aflatoxigenic fungi in Brazil nuts. **ISRN Biotechnology**, 859830, July 2013. DOI: <https://doi.org/10.5402/2013/859830>.
- GIORDANO, B. N. E.; SIMAO, V.; MANFIO, D. Reduction of in shell Brazil nut (*Bertholletia excelsa* H.B.K.) aflatoxin contamination by ozone gas application during storage, **Julius-Kühn-Archiv**, v. 425, p. 566-572, 2010. DOI: <https://doi.org/10.5073/jka.2010.425.167.231>.
- GONÇALVES, R. C.; LEITE, J. M.; REIS, F. S.; LIMA, M. M.; OLIVEIRA, E. B. Diversidade da microbiota de sementes de castanheira, *Bertholletia excelsa* Humbolt e Bomplier colhidas em sistemas extrativistas no Acre. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 2006, Curitiba. **Anais** [...]. Curitiba: Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2006.
- GONÇALVES, R. C.; ÁLVARES, V. S.; CARTAXO, C. B. C.; WADT, L. H. O.; SOUZA, J. M. L.; DE LIMA, A. C. Secador estacionário a ar aquecido forçado artificialmente: inovação tecnológica na secagem de sementes de castanheira da Amazônia (*Bertholletia excelsa*). Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2010. 4 p. (Embrapa Acre. Comunicado técnico, 174). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/872684>. Acesso em: 15 jan. 2022.

GUZEL-SEYDİM, Z. B.; GREENE, A. K.; SEYDİM, A. C. Use of ozone in the food industry. **LWT-Food Science and Technology**, v. 37, n. 4, p. 153-160, June 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2003.10.014>.

ISMAIL, A.; GONÇALVES, B. L.; NEEFF, D. V.; PONZILACQUA, B.; COPPA, C. F.; HINTZSCHE, H.; SAJID, M.; CRUZ, A. G.; CORASSIN, C. H.; OLIVEIRA, C. A. F. Aflatoxin in foodstuffs: Occurrence and recent advances in decontamination. **Food Research International**, v. 113, p. 74-85, Nov. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.067>.

JAGER, A.; TEDESCO, M. P.; SOUTO, P. C. M. de C.; OLIVEIRA, C. A. F. Assessment of aflatoxin intake in São Paulo, Brazil. **Food Control**, v. 33, n. 1, p. 87-92, Sept. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.02.016>.

LEITE, F. M. N.; SOUZA, M. L.; SOUZA, J. M. L.; CARTAXO, C. B. C.; ÁLVARES, V. S.; CUNHA, C. R. Incidence of *Aspergillus flavus*, *Aspergillus parasiticus* and aflatoxins in Brazil nuts in the Amazon Forest environment. **World Mycotoxin Journal**, v. 7, n. 2, p. 199-205, Mar. 2014. DOI: <https://doi.org/10.3920/WMJ2012.1488>.

KABAK, B. The fate of mycotoxins during thermal food processing. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 89, n. 4, p. 549-554, Mar. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.3491>.

MAGAN, N.; OLSEN, M. **Micotoxins in food: Detection and control**. Boca Raton: CRC Press: Woodhead Publishing, 2004, 488 p.

MANUAL de segurança e qualidade para a cultura da castanha-do-brasil. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica: CampoPAS, 2004. 61 p. (Qualidade e segurança dos alimentos).

MARÍN, S.; RAMOS, A. J.; CANO-SANCHO, G.; SANCHIS, V. Mycotoxins: occurrence, toxicology, and exposure assessment. **Food and Chemical Toxicology**, v. 60, p. 218-37. Oct. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.07.047>.

MARÍN, S.; RAMOS, A. J. Molds and mycotoxins in nuts. In: KOTZEKIDOU, P. (ed.). **Food hygiene and toxicology in ready-to-eat foods**. Cambridge, Massachusetts: Academic Press, 2016. Cap. 17, p. 295-312. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801916-0.00017-0>.

MARKLINDER, I.; LINDBLAD, M.; GIDLUND, A.; OLSEN, M. Consumer's ability to discriminate aflatoxin contaminated Brazil nuts. **Food Additives & Contaminants**, v. 22, n. 2, p. 56-64, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1080/02652030400028043>.

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, 14, 2008, Rio Branco Ufac. **Anais** [...]. Rio Branco, AC: Ufac, 2008.

MIDORIKAWA, G. E. O.; SOUZA, M. L. M.; SILVA, O. F.; DIAS, J. S. A.; KANZAKI, L. I. B.; HANADA, R. E.; MESQUITA, R. M. L. C.; GONÇALVES, R. C.; ÁLVARES, V. S.; BITTENCOURT, D. M. C.; MILLER, R. N. G. Characterization of *Aspergillus* species on Brazil nut from the Brazilian Amazonian region and development of a PCR assay for identification at the genus level. **BMC Microbiology**, v. 14, n. 138, May 2014. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2180-14-138>.

MYCOTOXINS: risks in plant, animal, and human systems. Ames, Iowa: Council for Agricultural Science and Technology, 2003. 199 p. (Task force report, 139)

O'DONNELL, C.; TIWARI, B. K.; CULLEN, P. J.; RICE, R. G. (ed.) **Ozone in food processing**. Oxford: Wiley-Blackwell, 2012. 312 p.

OURO VERDE AMAZÔNIA. **Caminho da castanha**. [2014]. Disponível em: <http://ouroverdeamazonia.com.br/curiosidades>. Acesso em: 22 maio 2020.

OLIVEIRA, C. A.; CORASSIN, C. H. Aflatoxins. In: DUARTE, S. C.; PENA, A. L. S.; LINO, C. de M. **Mycotoxins and their implications in food safety**. London, UK: Future Medicine, 2014. p. 6-19. DOI: <https://doi.org/10.4155/ebo.13.468>.

OLIVEIRA, J. M.; ALENCAR, E. R.; BLUM, L. E. B.; FERREIRA, W. F. S.; BOTELHO, S. C. C.; RACANICCI, A. M. C.; LEANDRO, E. S.; MENDONÇA, M.A.; MOSCON, E.S.; BIZERRA, L. V. A. S.; SILVA, C. R. Ozonation of Brazil nuts: Decomposition kinetics, control of *Aspergillus flavus* and the effect on color and on raw oil quality. **LWT - Food Science and Technology**, v. 123, p. 106-109, Apr. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109106>.

PACHECO, A. M.; SCUSSEL, V. M. **Castanha-do-brasil**: da floresta tropical ao consumidor. Florianópolis: Editograf, 2006. 171 p.

PACHECO, A. M.; SCUSSEL, V. M. Selenium and aflatoxin levels in raw Brazil nuts from the Amazon basin. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 55, n. 26, p. 11087-11092, Dec. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf072434k>.

PANKAJ, S. K.; SHI, H.; KEVIN, M. K. A review of novel physical and chemical decontamination technologies for aflatoxin in food. **Trends in Food Science and Technology**, v. 71, p. 73-78, Jan. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.11.007>.

PERAICA, M. Mycotoxicoses. In: VIEGAS, C.; PINHERO, A. C.; SABINO, R.; VIEGAS, S.; BRANDÃO, J.; VERISSIMO, C. (ed.). **Environmental mycology in public health: fungi and mycotoxins risk assessment and management**. Cambridge, Massachusetts: Academic Press, 2016. Cap. 5, p. 45-49. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-411471-5.00005-3>.

PRADO, G.; OLIVEIRA, M. S.; LIMA, A. S.; MOREIRA, A. P. A. Occurrence of aflatoxin M1 in parmesan cheese consumed in Minas Gerais, Brazil. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 6, p. 1906-1911, dez. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-705420080006000033>.

RIBEIRO, M. S. S.; SILVA, O. F.; CASTRO, I. M.; TEIXEIRA, A.; SILVA, S. H. M.; MORAES, A. C. S. S.; ABREU, L. F.; SOUSA, C. L. Efficacy of sodium hypochlorite and peracetic acid against *Aspergillus nomius* in Brazil nuts. **Food Microbiology**, v. 90, 103449, Sept. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2020.103449>.

REIS, T. A.; OLIVEIRA, T. D.; BAQUIÃO, A. C.; GONÇALVES, S. S.; ZORZETE, S. S.; CORREA, B. Mycobiota and mycotoxins in Brazil nut samples from different states of the Brazilian Amazon region. **International Journal of Food Microbiology**, v. 159, n. 2, p. 61-68, Oct. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.08.005>.

RUSTOM, I. Y. S. Aflatoxin in food and feed: occurrence, legislation and inactivation by physical methods. **Food Chemistry**, v. 59, n. 1, p. 57-67, May 1997. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(96\)00096-9](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(96)00096-9).

SAMARAJEWA, V.; SEN, A. C.; COHEN, M. D.; WEI, C. I. Detoxification of aflatoxins in foods and feeds by physical and chemical methods. **Journal of Food Protection**, v. 53, n. 6, p. 489-501, June 1990. DOI: <https://doi.org/10.4315/0362-028x-53.6.489>.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. **Trabalho e paciência**: entrevista realizada com a diretoria da COOPERACRE. Rio Branco, AC, 2007.

SILVA, A. A.; SANTOS, M. K. V.; GAMA, J. R. V.; NOCE, R.; LEÃO, S. Potencial do extrativismo da castanha-do-pará na geração de renda em comunidades da mesorregião baixo Amazonas, Pará. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 4, p. 500-509, dez. 2013. DOI: <https://doi.org/10.4322/loram.2013.046>.

SCUSSEL, V. M.; GIORDANO, B. N.; SIMÃO, V.; MANFIO, D.; GALVÃO, S.; RODRIGUES, M. N. F. Effect of oxygen-reducing atmospheres on the safety of packaged shelled Brazil nuts during storage. **International Journal of Analytical Chemistry**, article ID 813591, July 2011. DOI: <https://doi.org/10.1155/2011/813591>.

TANIWAKI, M. H.; FRISVAD, J. C.; FERRANTI, L. S.; LOPES, A. S. L.; LARSEN, T. O.; FUNGARO, M. H. P.; IAMANAKA, B. T. Biodiversity of mycobiota throughout the Brazil nut supply chain: From rainforest to consumer. **Food Microbiology**, v. 61, p. 14-22, Feb. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.08.002>.

VARGA, J.; FRISVAD, J. C.; SAMSON, R. A. Two new aflatoxin producing species and an overview of *Aspergillus* section *Flavi*. In: SAMSON, R. A.; VARGA, J.; FRISVAD, J. C. **Taxonomic studies on the genus *Aspergillus***. Utrecht, Netherlands: Westerdijk Fungal Biodiversity Institute, 2011. p. 57-80. (Studies in micology, 69).

VEIGA, A.; LOPES, A.; CARRILHO, E.; SILVA, L.; DIAS, M. B.; SEABRA, M. J.; BORGES, M.; FERNANDES, N. S. **Perfil dos riscos dos alimentos consumidos em Portugal**. Lisboa: ASAE, 2009. 330 p. Disponível em: <https://www.asae.gov.pt/noticias-/noticias-de-2012-e-anteriores/antecedentes-a-2012/perfil-de-risco-dos-principais-alimentos-consumidos-em-portugal.aspx>. Acesso em: 15 jun. 2022.

YU, J. Current understanding on aflatoxin biosynthesis and future perspective in reducing aflatoxin contamination. **Toxins**, v. 4, n. 11, p. 1024-1057, Nov. 2012. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins4111024>.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Micotoxins**. Rome, Italy, 1979. p. 21-84. (Environmental health criteria, 11).

Capítulo 2

Tecnologias de pré-secagem e armazenamento

Cleísa Brasil da Cunha Cartaxo; Rivaldalve Coelho Gonçalves; Virgínia de Souza Álvares; Joana Maria Leite de Souza; Marcelino Carneiro Guedes; Sílvia de Carvalho Campos Botelho; Roberta Martins Nogueira.

Introdução

A comercialização e o consumo da castanha-da-amazônia são fortemente regulados por normas sanitárias nacionais e internacionais por causa do risco de contaminação por toxinas produzidas a partir do metabolismo de fungos filamentosos. Estes podem se desenvolver em diferentes etapas da cadeia de produção, como nos ambientes de floresta e de clareiras, no armazenamento ou na comercialização em cidades. Entre esses fungos, destacam-se: *Aspergillus flavus*, *Aspergillus nomius*, *Aspergillus parasiticus*, *Aspergillus arachidicola*, *Aspergillus bombycis*, e *Aspergillus pseudotamarii*, *Aspergillus bertholletius*, *Aspergillus caelatus*, *Aspergillus pseudocaelatus*, *Aspergillus pseudonomius*, *Aspergillus pseudotamarii* e *Aspergillus tamarii* (Baquião et al., 2013; Calderari et al., 2013; Taniwaki et al., 2017).

Nesse contexto, as aflatoxinas produzidas por várias espécies de *Aspergillus* são consideradas o principal contaminante da castanha-da-amazônia. Essas toxinas possuem alto potencial carcinogênico e teratogênico, provocam hepatotoxicidade, imunotoxicidade, além de ocorrerem em vários ambientes e tipos de alimentos. Após ingeridas, em pequenas ou grandes quantidades, as micotoxinas acarretam um quadro clínico grave de doenças denominadas micotoxicoses – toxidez crônica ou aguda por micotoxinas (Maziero; Bersot, 2010; Peraica, 2016; Sacramento, 2016; Rotimi et al., 2017; Coppock et al., 2018; Ismail et al., 2018).

A contaminação da castanha com casca por aflatoxinas fez com que, no ano de 2003, a Comunidade Europeia restringisse sua importação. Naquele contexto, estabeleceram-se condições de rigoroso controle de qualidade e medidas de rastreabilidade, o que exigia a certificação de adoção de boas práticas de produção

ao longo de toda a cadeia (Comissão Europeia, 2003). Essa medida resultou em grande impacto econômico para o setor e obrigou os produtores agroextrativistas à adequação das práticas de produção e criação de mecanismos de monitoramento por órgãos oficiais brasileiros.

A predominância de clima quente e úmido na maior parte do ano na Amazônia constitui fator ambiental importante para o desenvolvimento de fungos filamentosos produtores de aflatoxinas e para a conseqüente produção dessas toxinas. Nesse sentido, o armazenamento representa a etapa mais crítica da conservação das castanhas, tanto nos estabelecimentos na floresta como nas agroindústrias, uma vez que umidade e temperatura elevadas afetam diretamente a atividade de água do produto, o que favorece o desenvolvimento fúngico e aumenta o risco de produção de aflatoxinas (Codex Alimentarius Commission, 2005; Baquião et al., 2013; Botelho et al., 2019).

Castanhas de frutos coletados no chão de florestas apresentam atividade de água entre 0,576–0,997 e já trazem consigo relevante contaminação por fungos, como *A. flavus* e *A. nomius*. Ao longo da cadeia de produção, caso não sejam tomadas medidas de controle, e a depender do manejo e do armazenamento, esses fungos poderão produzir aflatoxinas acima dos limites máximos estabelecidos pela legislação (Calderari et al., 2013; Lima et al., 2013), conforme Tabela 1.

Tabela 1. Limites máximos tolerados para aflatoxinas em diferentes tipos de castanha-da-amazônia e em função do uso.

Produto	Aflatoxinas totais
Castanha-do-brasil com casca para consumo direto	20 $\mu\text{g.kg}^{-1}$
Castanha-do-brasil sem casca para processamento posterior	15 $\mu\text{g.kg}^{-1}$
Castanha-do-brasil sem casca para consumo direto	10 $\mu\text{g.kg}^{-1}$

Fonte: Agência Nacional de Vigilância Sanitária (2011).

Nesse sentido, faz-se necessária a adoção de boas práticas de produção ou de medidas de higiene e manejo da castanha-da-amazônia ao longo de toda a cadeia produtiva. O objetivo é alcançar níveis de umidade e atividade de água do produto próximos aos ideais, o que minimiza perdas, garante segurança e qualidade ao produto e confere ganhos significativos à produção (Sá et al., 2008; Brasil, 2010).

Algumas práticas, como o planejamento da coleta, por exemplo, evitam que os frutos sejam deixados por longos períodos na floresta, especialmente em montes identificados como “amontoa”, em condições de elevada umidade e em contato com o solo, que se constitui reservatório natural de fungos. Assim, na fase de pós-coleta da castanha-da-amazônia, as boas práticas de produção deverão ser adotadas em diferentes etapas (Figura 1).

Como o foco deste capítulo são as etapas de pré-secagem e armazenamento da castanha com casca na unidade de produção agroextrativista, ou seja, na propriedade ou no estabelecimento rural, não será dada ênfase às fases de pré-coleta e coleta (amontoa/empilhamento e quebra dos ouriços), por constituírem operações do ciclo de exploração florestal.



Figura 1. Fluxograma da fase de pós-coleta de castanha-da-amazônia, incluindo as etapas que fazem parte das boas práticas de produção.

Fonte: Adaptado de Álvares; Wadt (2011).

Pré-secagem e armazenamento em unidades de produção agroextrativista

Com a maturação e queda dos frutos, o opérculo se desloca para dentro do ouriço, e rachaduras podem surgir em sua casca (Figura 2A). Além disso, perfurações superficiais podem ser produzidas por insetos. Todas essas alterações favorecem a entrada de propágulos de microrganismos que naturalmente colonizam a superfície dos frutos e das sementes de castanha-da-amazônia.

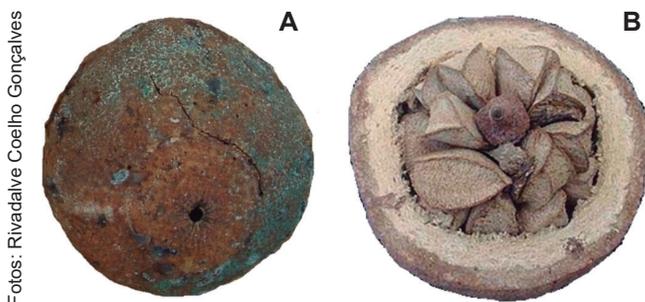


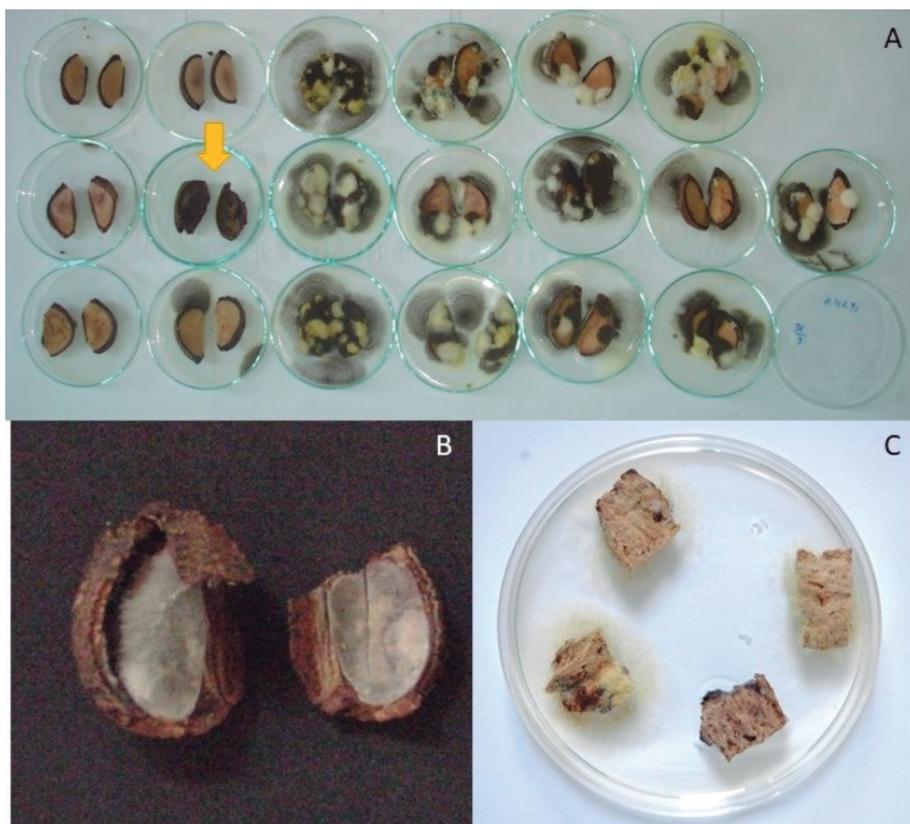
Figura 2. Detalhe do fruto da castanheira com (A) o orifício aberto pela maturação do fruto e rachaduras na casca lenhosa; e (B) fruto normal com todas as sementes aparentemente saudáveis.

A aparência física externa das sementes pode ser completamente normal (Figura 2B), com todas as amêndoas aparentemente saudáveis e saborosas. Contudo, existem frutos que se encharcam de água, e as sementes ficam, parcialmente ou totalmente, fungadas e apodrecidas. Assim, podem também ser danificadas por insetos (Figura 5I) ou mesmo pela ferramenta usada na quebra dos ouriços (Figura 3).



Figura 3. Fruto com sementes colonizadas por fungos e semente cortada pela ferramenta usada para abertura do fruto.

Na Figura 4A, estão expostas todas as sementes aparentemente saudáveis, de um único fruto, que foram colocadas em meio de cultura. Observa-se que, neste caso, encontraram-se sementes com fungos filamentosos decompositores, como *A. flavus*, *A. niger* e *Penicillium* spp., inclusive micotoxigênicos; sementes vazias, chochas, sem fungo filamentoso algum (seta); e sementes sem presença de fungos filamentosos. A Figura 4B mostra uma semente com podridão seca por *Lasiodiplodia theobromae*, enquanto a Figura 4C exhibe placa com fragmentos de casca da castanha que apresenta *A. flavus*. Quando não há seleção das castanhas, forma-se um lote de castanhas com sujidades naturais e sementes inapropriadas para o consumo, que precisam ser retiradas do lote na operação de seleção.



Fotos: Rivaldave Coelho Gonçalves

Figura 4. Sementes de *Bertholletia excelsa*, de um único fruto colhido no chão de floresta nativa, infectadas por *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger* e *Penicillium* spp. (A); semente com o fungo *Lasiodiplodia theobromae* (B); e placa com colônias de *Aspergillus flavus* a partir da casca lenhosa de fruto (C).

A seleção das castanhas com casca é uma operação que tem como objetivo a limpeza do lote de sementes e o aumento de eficiência do processo de pré-secagem, visto que essa operação contribui para a redução do volume e da umidade inicial do lote de sementes a ser submetido à secagem. Nessa etapa de seleção, devem ser eliminados os restos do fruto e o opérculo do fruto, conhecido como umbigo (Figuras 5I a 5L); as sementes cortadas (Figura 5B), os pedaços de ouriços, folhas e galhos; as castanhas escuras apodrecidas (Figuras 5E e F); as castanhas com fungos do tipo mofos, visíveis a olho nu na casca (Figura 5A a 5C); e as castanhas danificadas fisicamente (Figura 5G e 5H).

Fotos: Rivadulve Coelho Gonçalves

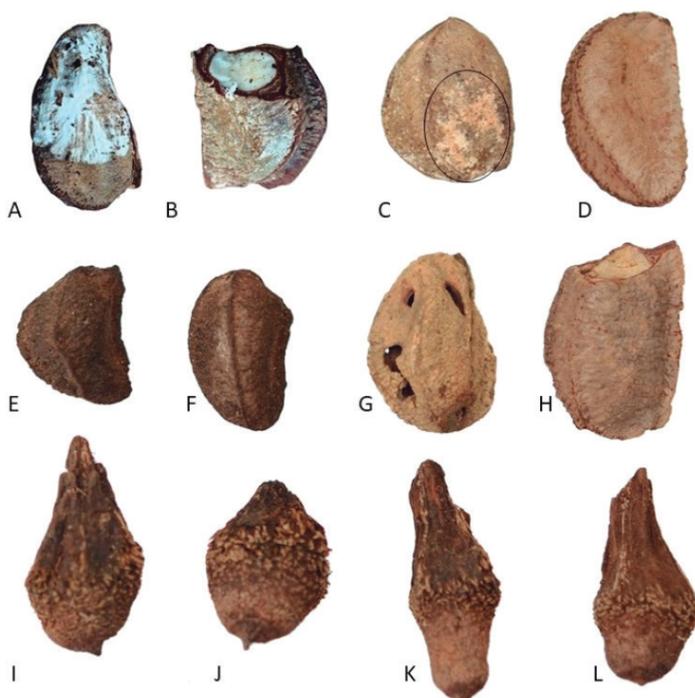


Figura 5. Exemplos de sementes com fungos que apresentam massa de esporos branca (A) e rósea (C) na casca; sementes cortadas (B); sementes saudáveis (D), sementes com casca escura (E e F); sementes danificadas (G e H); e opérculos com diferentes formatos – tampão do poro – de frutos de castanha-da-amazônia (I a L).

A redução das fontes de contaminação por fungos resulta na menor probabilidade de produção de micotoxinas, o que contribui para a melhoria da qualidade do produto (Baquião et al., 2013; Ferreira; Carniello, 2018). Mesmo que a operação

de seleção tenha como meta a redução de fungos micotoxigênicos, o controle de fungos apodrecedores não toxigênicos do lote de sementes também é importante para a manutenção de sua qualidade, pois visa reduzir perdas durante o transporte e o armazenamento. Dessa forma, a etapa de pré-secagem das castanhas tem importante papel no controle do crescimento fúngico e na prevenção da produção de aflatoxinas, uma vez que objetiva promover a redução do teor de umidade e a atividade de água iniciais das amêndoas.

No entanto, na coleta convencional da castanha com casca, a pré-secagem não é executada. O armazenamento é realizado por curto período, em sacos empilhados na própria floresta, sob a copa das árvores ou sob cobertura artificial, próximo ou no local de embarque para o transporte secundário até o armazém do comprador. No manejo simples, que introduz alguns princípios do manejo com boas práticas de produção, a pré-secagem é realizada de forma muito lenta, em secadores pouco eficientes, que demandam longo tempo para reduzir significativamente a umidade das castanhas com casca. Nesse caso, são necessários 15 dias de operação para reduzir em 55% a umidade inicial da castanha com casca; isso depende muito da umidade inicial do produto e da umidade relativa do ar. Até que o produto seja transportado para a indústria, fica armazenado nas comunidades, normalmente por longos períodos, com taxas de umidade superiores a 25% (Álvares et al., 2009; Nogueira, 2011). Em alguns casos específicos, como acontece no Estado do Mato Grosso, onde a coleta é comumente realizada em áreas de floresta de propriedades de terceiros (áreas privadas ou não), na forma de arrendamento, ou em áreas comunitárias, a secagem parcial eficiente poderá também contribuir para diminuir o peso da carga durante o transporte do produto da floresta para o armazém na propriedade, ou armazém comunitário, ou, ainda, para a indústria (Nogueira; Álvares, 2012).

No armazenamento primário, adotado na coleta convencional, lotes de castanhas com diferentes teores de umidade, atividade de água e frequências de microrganismos são misturados e dispostos em estruturas inadequadas, sem a adoção de medidas que favoreçam a sua aeração. Nesse contexto, a pré-secagem artificial, seja por meio de secadores solares, seja de circulação natural de ar, e o armazenamento primário contribuem para promover o controle do crescimento fúngico (Brabet et al., 2009; Baquião et al., 2013).

Tecnologias de pré-secagem para unidades de produção agroextrativistas

Tendo em vista que a maior parte da produção de castanha-da-amazônia provém de áreas de exploração extrativista, muitas vezes de difícil acesso, com precárias condições de infraestrutura para tratamento e armazenamento do produto e inexistente rede de energia elétrica em muitos locais de produção, as condições de umidade e atividade de água da castanha, necessárias para limitar o crescimento fúngico e evitar a produção de aflatoxinas, dificilmente são atingidas na pré-secagem. A adoção de quaisquer medidas que venham a contribuir para reduzir a umidade e a atividade de água do produto se torna de extrema relevância para o controle de contaminações.

Tecnologias mais simples, quando adotadas no âmbito de unidade de produção, podem contribuir, de forma significativa, para a manutenção da qualidade do produto até sua comercialização. Para tanto, de forma a possibilitar sua adoção, as tecnologias de pré-secagem devem considerar o custo e a disponibilidade local de energia, de infraestrutura e de mão de obra. O processo deve ser realizado ainda de forma rápida e considerar o volume diário de produção do extrativista (Nogueira; Álvares, 2012).

Os processos de pré-secagem devem promover também a manutenção da qualidade nutricional e das características físicas da amêndoa, o que previne alterações indesejáveis no gosto, como a rancificação, ocasionada pela oxidação da fração lipídica da castanha. A exposição da amêndoa a temperaturas superiores a 50 °C pode, por exemplo, provocar rachaduras, as quais causam exsudação do óleo, redução do teor de vitamina E e redução significativa da atividade antioxidante e dos níveis de compostos fenólicos totais (Nogueira, 2011; Muniz et al., 2015; Özcan et al., 2018).

Nesse contexto, são apresentados alguns equipamentos e processos disponíveis para a pré-secagem de castanha-da-amazônia em unidades de produção, com base nas peculiaridades da região amazônica e do produto. Em virtude das diferentes unidades utilizadas para medir a produção de castanha em toda a Amazônia, procurou-se padronizar a informação no texto com a mais comum, que é a lata. Na Figura 6, pode-se ver um modelo da lata utilizada na medida de 20 L de castanha-da-amazônia.



Foto: Lúcia Helena de Oliveira Wadt

Figura 6. Lata de medição de 20 L de sementes de castanha-da-amazônia, utilizada na comercialização do produto florestal *in natura*.

Secador estacionário a ar aquecido e forçado artificialmente

O secador estacionário a ar aquecido e forçado artificialmente foi planejado para uso por comunidades extrativistas que dispõem de energia elétrica. O equipamento promove a redução da umidade do produto em 9,7% ao final de 48 horas de secagem (Gonçalves et al., 2010). As Figuras 7 e 8 apresentam detalhes desse secador, e a Tabela 2 traz a especificação dos itens necessários para a construção do secador.



Fotos: Rivadálve Coelho Gonçalves

Figura 7. Secador estacionário a ar aquecido e forçado artificialmente com vista frontal da fornalha (A); e vista da bandeja carregada de castanha com termômetro no meio da massa de sementes (B).

O secador é constituído por coifa com tubo exaustor de fumaça, exaustor/ventilador de ar quente indireto sem fumaça e bandeja de secagem, todos conectados a uma fornalha abastecida com lenha (Figuras 8A a 8C). A fornalha é construída em alvenaria, enquanto a coifa é confeccionada em chapa de ferro com 22 tubos sobrepostos em quatro fileiras, sendo duas fileiras de seis tubos e outras duas de cinco tubos. Esses tubos têm a função de realizar a troca de calor e permitir que o ar quente enviado para secar as castanhas não tenha fumaça (Gonçalves et al., 2010).

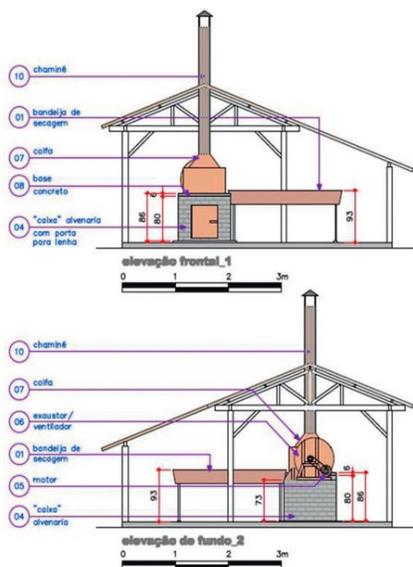


Figura 8A. Secador estacionário a ar aquecido e forçado artificialmente: elevação frontal e elevação de fundo.

Fonte: Gonçalves et al. (2010). Desenhos: Beatriz de Campos Lorentz

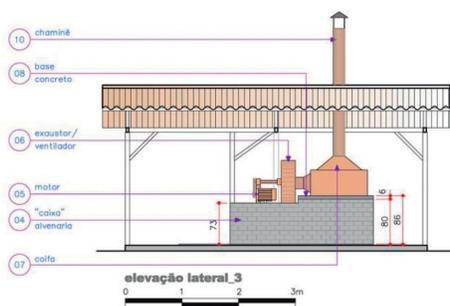


Figura 8B. Secador estacionário a ar aquecido e forçado artificialmente: elevação lateral.

Desenho: Beatriz de Campos Lorentz

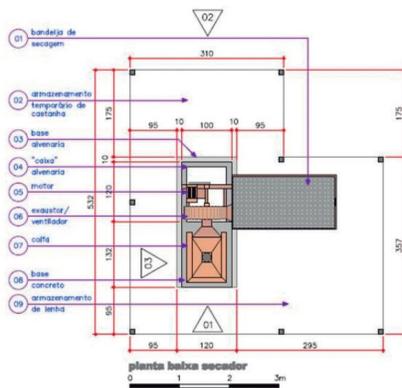


Figura 8C. Secador estacionário a ar aquecido e forçado artificialmente: planta baixa do equipamento.

Fonte: Gonçalves et al. (2010). Desenho: Beatriz de Campos Lorentz

Tabela 2. Especificação dos itens para construção do secador a ar aquecido e forçado artificialmente.

Itens	Largura (cm)	Altura (cm)	Comprimento (cm)	Diâmetro (cm)	Espessura (cm)
Fornalha	90	100	135	-	-
Coifa	79	45	100	-	-
Tubos	-	-	-	50	3,0
Chaminé	-	360	-	180	2,0
Câmara plenum	28,4	-	-	758	3,0
Tubo de conexão coifa-exaustor/ventilador	-	-	-	253	3,0
Diâmetro do eixo	-	-	-	33	-
Diâmetro da polia	-	-	-	110	-
Hélice	-	-	-	500	-
Pás da hélice	-	-	20	-	4,2
Espelho da hélice	-	-	-	100	10,0
Bandeja externa	107	31,8	209	-	2,0
Duto de saída de ar com expansor	28,4	20,3	23,9	-	-
Abertura do expansor	60	3,8	-	-	-
Pé da bandeja externa	-	80,2	-	29	-
Pé da bandeja interna	-	5	-	10	-
Mancal	5,9	10,5	20,5	-	-

Fonte: Adaptado de Gonçalves et al. (2010).

Nesse equipamento, deve haver um preaquecimento da fornalha por 6 horas até a estabilização da temperatura, já que o abastecimento de castanhas é realizado uma única vez, com revolvimentos. O equipamento foi dimensionado para a secagem de 15 latas de castanha por batelada, com uma camada de sementes de 15 cm de altura na bandeja. A temperatura média de secagem deve ser mantida em torno de 46 °C, e a umidade relativa do ar, em 55%, a fim de obter castanhas com umidade de 9,7% ao final de 48 horas de secagem (Gonçalves et al., 2010).

Secador a ar quente por convecção natural

O secador a ar quente por convecção natural apresenta estrutura bastante rústica, condizente com a realidade da região e com o dia a dia na floresta. Pode ser utilizado na área do produtor, ou em áreas coletivas, ou mesmo de terceiros, arrendadas para esse fim, uma vez que dispensa energia elétrica e foi dimensionado para a pré-secagem da produção média diária de um coletor de castanha-da-amazônia, ou seja, de 11 a 17 latas de castanha. Dessa forma, o uso desse secador como tecnologia de pré-secagem de castanha para comunidades extrativistas reduz o peso do lote de sementes devido à perda de água, o que proporciona manejo mais simples e economia no transporte secundário – da unidade de produção até o local de beneficiamento.

A pré-secagem, por 6 horas e a 45 °C, com o uso do secador a ar quente por convecção natural, é capaz de reduzir em 40% a umidade inicial das amêndoas. Isso demonstra a eficácia do equipamento, uma vez que diminui em até 98% o tempo médio de secagem da castanha com casca em relação ao método convencional, seja ao sol, seja simplesmente guardada em paiol.

O uso do secador a ar quente por convecção natural também pode reduzir a contaminação por fungos filamentosos totais e manter os níveis de aflatoxinas abaixo dos limites legais. Além disso, a baixa temperatura de secagem utilizada nesse sistema previne rachaduras nas cascas das castanhas, o que, além de contribuir para evitar a entrada de microrganismos na amêndoa, também colabora para manter a composição físico-química do produto e impedir sua rancificação (Costa et al., 2017).

Outro ponto importante no uso dessa tecnologia é a possibilidade da utilização do próprio ouriço como fonte de geração de calor para a fornalha (Nogueira; Álvares, 2012). O poder calorífico do ouriço é superior ao de muitas madeiras (Nogueira,

2011). Seu uso contribui também para reduzir as fontes de contaminação por fungos produtores de aflatoxina nas áreas de amontoa, na floresta, ao evitar que ouriços permaneçam no local de quebra entre uma safra e outra (Nogueira; Álvares, 2012).

O equipamento mede 1,0 m de largura x 2,0 m de comprimento x 1,70 m de altura e é composto por fornalha, trocador de calor, chaminé, câmara *plenum* e câmara de secagem (Figuras 9, 10, 11 e 12). Para sua construção, devem ser seguidas as seguintes etapas:

1. Limpeza do terreno, com retirada da vegetação;
2. Localização e marcação da área do secador para escavação, com parte no subsolo (Figura 13A);
3. Assentamento do trocador de calor e execução da alvenaria de tijolos (câmara plenum, chaminé e fornalha) (Figuras 13B e 13C);
4. Construção da câmara de secagem em madeira e chapa perfurada (Figura 13D);
5. Assentamento da câmara de secagem (Figura 13E).

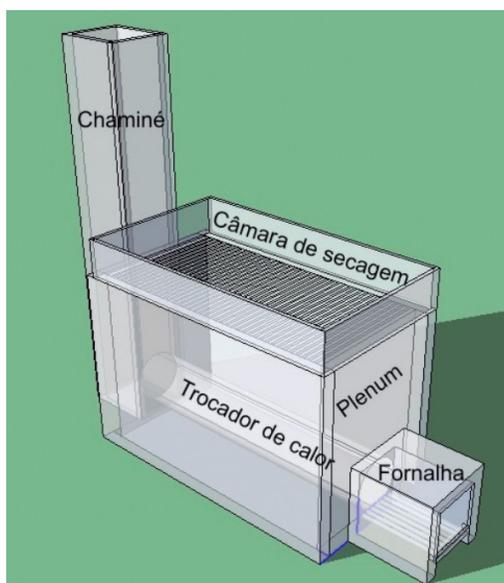


Figura 9. Estrutura do secador a ar quente por convecção natural.
Fonte: Nogueira (2011).

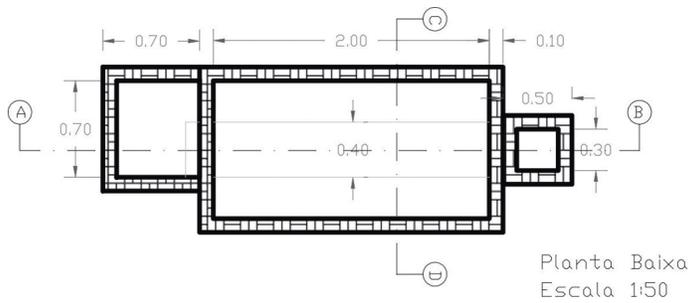


Figura 10. Planta baixa do secador a ar quente por convecção natural para a castanha-da-amazônia.

Fonte: Nogueira (2011).

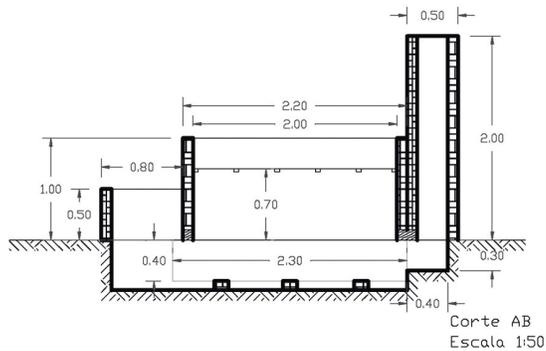


Figura 11. Corte longitudinal do secador a ar quente por convecção natural para a castanha-da-amazônia.

Fonte: Nogueira (2011).

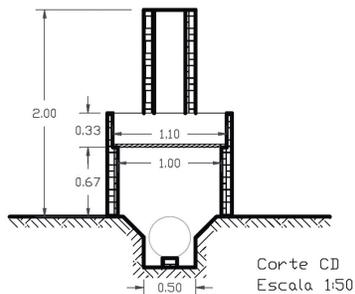


Figura 12. Corte frontal do secador a ar quente por convecção natural para a castanha-da-amazônia.

Fonte: Nogueira (2011).



Fotos: Roberta Martins Nogueira

Figura 13. Etapas para construção do secador a ar quente por convecção natural: limpeza, marcação e escavação do terreno para a locação do equipamento (A); assentamento do tubo do trocador de calor (B); execução da alvenaria (C); construção da câmara de secagem (D); e assentamento da câmara de secagem (E).

Após a construção, é importante que seja instalada uma cobertura sobre o secador, com a finalidade de realizar a secagem do produto sem interferência de precipitação por orvalho e chuvas, tendo em vista que a coleta da castanha é realizada em períodos de chuvas intensas. Na Tabela 3, estão listados os materiais para construção do secador a ar quente por convecção natural.

Tabela 3. Relação de materiais para a construção do secador a ar quente por convecção natural e estimativa de preço realizada em Porto Velho, em fevereiro de 2022.

Material	Unidade	Quantidade	Valor (R\$)
Tijolo de barro de 6 furos (10 cm x 20 cm x 15 cm)	unidade	330	220,00
Areia média	m ³	0,4	50,00
Cimento	saco	2	84,00
Cal	saco	4	100,00
Ferro de construção 5/16" – barra de 12m	m	1,20	84,00
Chapa de aço nº 16 (1,2 x 3,00 m)	unidade	1	600,00
Ripas de madeira (5 cm x 3 cm)	m	15	70,50
Viga de madeira (7 cm x 5 cm)	m	1,20	36,00
Tábua de madeira (30 cm)	m	6,20	88,00
Tela de viveiro (1,00 m)	m	2,00	328,00
Total			1.660,50

Paiol solar

Por mais que a adoção de tecnologias de pré-secagem seja importante para a manutenção da qualidade da castanha, a secagem deve ser seguida de armazenamento em condições adequadas para evitar a contaminação do produto por outros agentes contaminantes, a reabsorção de água e, conseqüentemente, um aumento no desenvolvimento de microrganismos, que favorece a produção de toxinas e perdas de qualidade (Garcia-Cela et al., 2020). O armazenamento adequado permite, ainda, manter o produto por períodos mais prolongados, de forma a possibilitar a sua comercialização durante a entressafra, quando, geralmente, o produto alcança maior valor. Com esses objetivos, o paiol solar para pré-secagem e armazenamento da castanha foi desenvolvido e validado durante o Projeto C Cajari, executado no sul do Estado do Amapá (Pimenta et al., 2015; Silva, 2017).

Esse equipamento de pré-secagem é constituído por câmara de aquecimento coberta com telhas translúcidas e estrutura de armazenamento com capacidade para 150 latas de castanha com casca (Figura 14). A estrutura é construída em madeira, que pode ser retirada da floresta nativa ou de árvores plantadas na localidade onde se coleta a castanha, desde que devidamente autorizada a colheita florestal, ou, no caso de unidades de conservação de uso sustentável, quando os moradores têm o direito ao uso da madeira para benfeitorias na propriedade ou comunidade.

A utilização do paiol solar contribui, principalmente, para a redução do peso inicial da castanha, em até 29%. Isso se dá por meio da secagem, seleção e retirada de resíduos do produto, o que resulta em castanhas limpas e de melhor aparência,

atributos estes desejados pelas comunidades para facilitar o manuseio e transporte secundário. Essa melhoria na qualidade da castanha constitui-se, efetivamente, em aumento no valor desse produto florestal, porém, muitas vezes, isso não é reconhecido pelo comprador.



Fotos: Oσίας Silva



Figura 14. Paiol solar para a pré-secagem e o armazenamento de castanha-da-amazônia em áreas de produção na floresta.

O espaço de pré-secagem pode ser utilizado em conjunto com outros modelos de secadores para promover a redução da umidade e atividade de água da castanha e, assim, prolongar o tempo de armazenamento do produto. A estrutura do paiol deve ser construída em madeira resistente a insetos e fungos decompositores da região e ficar suspensa do solo, no mínimo em um metro (1,00 m) de altura, para facilitar as seguintes operações:

- Limpeza sob o paiol, antes e depois da safra, ou, ainda, durante o período de coleta, como medida de manutenção da higiene do equipamento;

- Controle de animais silvestres e domésticos para impossibilitar as contaminações cruzadas;
- Embarque e desembarque de castanhas com ergonomia.

O assoalho do armazém deve ser construído com espaço de cerca de um centímetro (1 cm) entre as tábuas, de forma a evitar: acúmulo de castanhas nas frestas que possam surgir, eventualmente, com a secagem natural da madeira; fontes de contaminações pelo apodrecimento de castanhas entre as frestas; e má aeração no interior do armazém.

O espaço destinado à secagem inicial das castanhas recém-chegadas da floresta deve ser construído com o fundo em tela galvanizada, de forma a propiciar condições de trocas de ar entre a massa de castanhas e o meio externo, porém a malha da tela deve ser de tamanho que evite a passagem das castanhas (o ideal é usar chapa galvanizada em moedas). Desse modo, recomenda-se que seu assoalho fique mais elevado que o assoalho do armazém, sendo essa diferença de pelo menos 0,50 m. Essa elevação visa facilitar também a transferência das castanhas da área de secagem para a área de armazenagem, o que é um trabalho mais ergonômico para o manejador no interior do armazém. Nessa parte de tela galvanizada, é feito o revolvimento manual das castanhas por meio de um rodo de madeira. Isso permite não somente a aeração, mas também a eliminação de resíduos orgânicos que vêm no lote de castanhas, o que propicia a sua limpeza numa única operação de tarefas repetidas.

O telhado deverá ser construído por meio de telha de aço e telhas transparentes de forma a possibilitar a entrada de luz e a elevação de temperatura, conforme esquema abaixo (Figura 15).

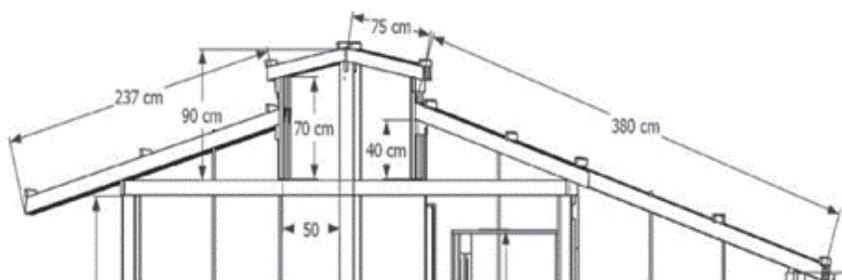


Figura 15. Esquema gráfico do telhado do paiol solar para pré-secagem e armazenamento de castanha-da-amazônia.

Desenho: Marcelino Carneiro

As paredes laterais da estrutura deverão ser construídas em madeira no estilo meia-parede, sendo a parte inferior com tábuas unidas sem deixar frestas entre si para evitar perda de castanhas pelas laterais. As meias-paredes deverão ter altura máxima de um metro (1,00 m), de maneira a evitar a formação de massa muito alta de castanhas, o que produziria secagem ineficiente, além de favorecer o acúmulo de umidade, tão prejudicial à qualidade das castanhas com cascas.

A partir das meias-paredes de tábuas, o restante deve ser construído com tela galvanizada em malha de 0,5 mm para permitir não somente a troca de ar dentro da estrutura, mas também evitar a entrada de animais domésticos e silvestres e as contaminações cruzadas. Já as paredes laterais da área de secagem deverão ser de plástico transparente (plástico de estufa), com 1,5 mm de espessura, resistente; são afixadas na parte superior de modo que, quando necessário, possam ser levantadas para permitir maior fluxo de ar no interior do secador durante o dia e abaixadas durante as chuvas comuns na época da safra de castanha. Na Tabela 4 estão listados os materiais para construção do paiol solar:

Tabela 4. Relação de materiais para construção do paiol solar para pré-secagem e armazenamento de castanha-da-amazônia e estimativa de preço realizada em Porto Velho, em fevereiro de 2022.

Material	Unidade	Quantidade	Valor (R\$)
Estrutura e base do paiol			
Esteio de 5" x 5" (5 m para a sustentação da área de armazenamento)	m	50	2.968,5
Esteio de 4" x 4" (4 m para a sustentação da área de secagem)	m	20	1.187,40
Estacas de 4" x 4" (2 m para a sustentação do assoalho)	m	10	593,70
Estacas de 4" x 4" (2,5 m para a sustentação do assoalho e da área de secagem)	m	5	296,85
Assoalho			
Frechal de 4" x 2" (7,2 m para apoio dos frechais do centro do assoalho e da lateral)	m	14,4	410,40
Frechal de 4" x 2" (6 m para apoio dos frechais na lateral esquerda)	m	6	171,00
Frechal de 4" x 2" (4 m para apoio das tábuas, distribuídos em toda a extensão do assoalho)	m	44	1.054,00
Frechal de 4" x 2" (2 m para apoio das tábuas da escada externa do paiol)	m	6	171,00
Tábua de 6" x 1" (4 m para o assoalho)	m	224	6.384,00
Prego de 3" x 9" (para pregar os frechais nos esteios da base do paiol)	kg	4	66,08
Prego de 2" x 13" (para fixação do assoalho)	kg	4	120,00

Continua...

Tabela 4. Continuação.

Material	Unidade	Quantidade	Valor (R\$)
Área de secagem			
Frechal de 4" x 2" (6 m – 2 para sustentar a base da tela e 1 para apoiar os frechais do telhado)	m	18	513,00
Frechal de 4" x 2" (2 m para apoio das ripas que sustentarão a tela)	m	18	513,00
Ripão de 2" x 2" (6 m para apoiar a tela)	m	48	456,00
Perna-manca de 3" x 2" (3 m para atracamento das paredes; deverão ser cortadas para o tamanho adequado do local)	m	27	182,25
Ripas de 2" x 1" (3 m para prender a tela e o plástico transparente)	m	18	81,00
Tábua de 6" x 1" (4 m para a parte frontal e posterior; deverão ser cortadas ao meio)	m	24	342,00
Tábua de 6" x 1" (3 m para a lateral da área de secagem)	m	18	256,50
Prego 3" x 9" (para atracamento dos esteios e ripões da área de secagem)	kg	2	45,00
Tela galvanizada soldada de 1 m x 6 m	m	12	453,28
Tela metálica hexagonal, malha ½, 24 m x 1,1 m x 10 m	m	10	178,70
Plástico transparente para estufa de 400 cm x 800 cm x 0,15 cm (para vedar as laterais da área de secagem)	m	8	180,00
Telhado			
Telha de aço ondulada 985 útil 0,50 esp. branco gelo/prime com película de 244 cm x 100 cm (para a primeira fiada da lateral esquerda do armazém)	unidade	9	1.575,00
Telha de aço ondulada 985 útil 0,50 esp. branco gelo/prime com película de 220 cm x 100 cm (para completar a arte frontal da primeira fiada acima da telha transparente)	unidade	1	175,00
Telha de aço ondulada 985 útil 0,50 esp. branco gelo/prime com película de 170 cm x 100 cm (para primeira fiada acima da telha transparente)	unidade	8	1.400,00
Telha de aço ondulada 985 útil 0,50 esp. branco gelo/prime com película de 100 cm x 100 cm (para o telhado sobreposto/ lanternim)	unidade	18	3.150,00
Telha transparente ondina de 50 cm x 244 cm (para cobertura da área de secagem)	unidade	15	750,00
Cumeeira lisa de 400 x 0,50 branco gelo/prime com película de 200 cm x 25 cm x 25 cm (para vedar a parte central do telhado)	unidade	4	392,00
Prego de 3½ x 11 (para telha)	kg	5	125,00
Prego de 2½ x 11 (para telha transparente)	kg	2	46,00
Frechal de 4" x 2" (7,2 m para atracamento lateral do telhado)	m	50,4	1.436,40
Frechal de 4" x 2" (4 m para atracamento horizontal do telhado)	m	16	56,00
Ripão de 2" x 1" (8,2 m para suporte do telhado)	m	90,2	856,90
Ripão de 2" x 1" (7 m para suporte do telhado)	m	42	399
Frechal de 4" x 2" (6 m para apoiar ripões do telhado lateral esquerdo)	m	36	1.026,00
Frechal de 4" x 2" (0,75 cm para apoiar ripões do telhado lateral esquerdo)	m	4,5	128,25
Frechal de 4" x 2" (0,75 cm para apoiar ripões do telhado lateral direito)	m	4,5	128,25

Continua...

Tabela 4. Continuação.

Frechal de 4" x 2" (7,2 m para apoiar ripões do telhado lateral direito)	m	43,2	1.231,20
Frechal de 4" x 2" (1 m para servir de suporte – pontal – do telhado)	m	8	228,00
Prego 3 x 9 (para pregar frechais e ripões de atracamento, pontal e suporte do telhado)	kg	4	100,00
Paredes			
Material	Unidade	Quantidade	Valor (R\$)
Tábua de 6" x 1" (4 m para paredes laterais)	m	336	4.788,00
Perna-manca de 3" x 2" (3 m para paredes)	m	117	789,75
Tábua de 6" x 1" (1,20 m para rampa)	m	10	142,50
Frechal de 4" x 2" (3,50 m para rampa)	m	14	399,00
Total			38.084,90

Armazém-secador com ventilação natural

O armazém-secador com ventilação natural é um equipamento híbrido, desenvolvido pela Embrapa para uso em unidades de produção florestal de castanha-da-amazônia. A estrutura de secagem do equipamento é do tipo secador em bandeja telada, à sombra plena, por telha cimentícia, sob condição de temperatura e umidade naturais, construída com madeira resistente a insetos e fungos decompositores, e possui caixas forradas com tela de arame. O equipamento, preconizado inicialmente na Embrapa para a melhoria da qualidade das castanhas com casca, como unidade secadora com capacidade para a produção de uma família, foi ampliado a uma unidade de média escala para atender à produção comunitária de 1.500 latas de castanha na safra (Figuras 16A e 16B).



Figura 16. Armazéns-secadores com ventilação natural na Reserva Extrativista Chico Mendes, Acre: (A) armazém-secador para a produção familiar individual (Seringal Porvir); (B) armazém-secador de média escala para atendimento à produção comunitária (Seringal Porongaba).

De forma a impedir a entrada de animais domésticos, roedores e insetos, o armazém deve ser construído a partir de 1 m de altura do solo, e, nos esteios da estrutura, devem ser instalados cones invertidos ou saias de alumínio. As escadas também deverão possuir a saia de alumínio se forem fixas, mas, se forem móveis, deverão ser removidas sempre que não estiverem sendo utilizadas (Souza et al., 2010).

O telhado pode ser construído com telhas de zinco ou alumínio, com beiral largo o suficiente para evitar a entrada de chuva. O pé-direito, com altura de 3,5 m a 4 m, e o lanternim, protegido com tela de nylon de malha de 1,0 mm, permitem as trocas de ar no interior do equipamento e auxiliam na formação de correntes de ar, o que favorece a aeração das castanhas (Souza et al., 2010). As paredes devem ser construídas em madeira até a metade da altura do pé-direito, com frestas de 1,5 cm entre as tábuas; enquanto a outra metade deve ser feita em tela galvanizada com malha de 0,5 cm x 0,5 cm (Figura 17).

Internamente, o armazém-secador individual é dividido em duas partes: uma com piso em tela galvanizada com malha de, no máximo, 1,0 cm x 1,0 cm; e outra com piso em tábuas de madeira, com frestas de aproximadamente 1,5 cm, para o acondicionamento da castanha em sacos ou a granel, após o período de revolvimento (Souza et al., 2010).

Foto: Lúcia Helena de Oliveira Wadt



Figura 17. Vista lateral do armazém-secador com ventilação natural para produção familiar.

Ao entrar no armazém, a castanha deve ser colocada sobre a área com piso telado e ser revolvida diariamente, pelo período de 5 dias, para promover a aeração do produto. Ao final dos 5 dias, pode ser embalada em sacos de 60 kg e armazenada na área com piso de madeira. Nesse sentido, deve-se observar espaçamento entre as pilhas de, no mínimo, 15 cm e evitar montes com mais de cinco sacas (Souza et al., 2010). Na Tabela 5, estão listados os materiais para a construção do armazém-secador com ventilação natural.

Tabela 5. Relação de materiais para a construção do secador com ventilação natural para produção familiar e estimativa de preço realizada em Porto Velho, em fevereiro de 2022.

Material	Unidade	Quantidade	Valor (R\$)
Peças de 7 cm x 5 cm (4 m)	m	240	3.420,00
Peças de 15 cm x 15 cm (comprimento de 5,1 m)	m	61,2	5.232,60
Peças de 15 cm x 15 cm (comprimento de 2,3 m)	m	27,6	2.359,80
Peças de 15 cm x 8 cm (comprimento de 6 m)	m	108	4.617,00
Peças de 15 cm x 8 cm (comprimento de 4 m)	m	72	3.078,00
Peças de 12 cm x 7 cm (4 m)	m	48	1.709,76
Tábua de 0,3 m x 3 m (3 cm x 3 m)	m	9	127,80
Tábua de 0,3 m x 4 m	m	4	57,00
Telha de alumínio	unidade	32	5.600,00
Tela com 0,8 m de largura, malha 0,5	m	15	570,00
Chapa tipo moeda*	m	3	195,00
Prego de 4 polegadas	kg	4	90,00
Prego de 2,5 polegadas	kg	6	153,00
Dobradiças para porta	unidade	6	29,00
Trincos para porta	unidade	2	105,80
Prego telheiro	kg	4	31,80
Cadeados	unidade	2	81,00
Grampo em U	kg	1	25,00
Gasolina e óleo queimado para motosserra	litros	50	360,00
Óleo 2 tempos	litros	5	109,50
Óleo queimado	litros	25	75,00
Valor total			28.027,06

* (<http://acograde.com.br/tela-moeda/>)

Um armazém-secador com oito unidades secadoras, para produção comunitária, é apresentado abaixo. Avaliações desse secador demonstraram a eficiência dessa tecnologia de baixo custo e de fácil adoção. Detalhes da estrutura são mostrados nas Figuras 18 e 19.

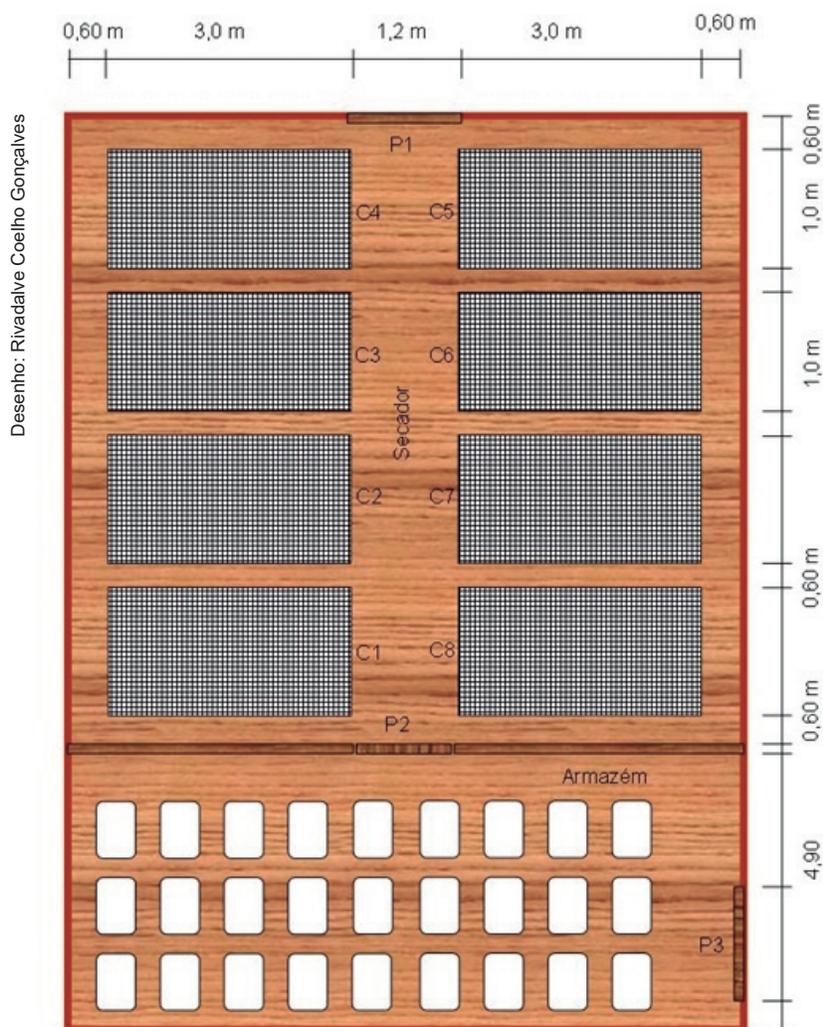


Figura 18. Desenho de planta baixa de secador com ventilação natural para a castanha-da-amazônia, em escala comunitária (1.500 latas).



Fotos: Rivaldaive Coelho Gonçalves

Figura 19. Vista do armazém-secador em construção pelos próprios produtores florestais – (A) vista da unidade de secagem em construção e (B) vista frontal.

Esse secador, conforme estudo preliminar realizado pela Embrapa, em comparação ao armazenamento convencional e temporário no chão, sobre folhas de sororoca (*Phenakospermum guianense*) e sob as copas das castanheiras, possibilita a melhoria do lote manejado quanto à redução de sujidades, a melhoria do aspecto físico externo e da cor das sementes, a redução da umidade das sementes e a diminuição da transmissão de *A. flavus* semente a semente. Essa tecnologia, combinada com o conhecimento da epidemiologia de fungos aflatoxigênicos durante as fases de pré-coleta e coleta, pode representar solução com significativo avanço nas boas práticas de produção para a obtenção de castanhas com qualidade apropriada para o mercado.

Abaixo, a lista de materiais para construção de um armazém-secador de média escala, para produção comunitária (1.500 latas na safra), medindo 15,0 m de largura por 40,0 m de comprimento, para pré-secagem e armazenamento de castanha-da-amazônia; essa lista pode ser adaptada para diferentes tamanhos de armazém-secador. Na Tabela 6, estão listados os materiais para construção do armazém-secador com ventilação natural.

Tabela 6. Relação de materiais para a construção do secador com ventilação natural para produção comunitária de 1.500 latas de castanha e estimativa de preço realizada em Porto Velho, em fevereiro de 2022.

Material	Unidade	Quantidade	Valor (R\$)
Peças de madeira 2" x 6" (viga assoalho)	m	485	1.382,25
Peças de madeira 5" x 6" (pilares e barrotes)	m	864	4.104,00
Prumo em peça de madeira 4" x 4"	m	91	432,25
Tela galvanizada (malha 1/2")	m ²	206	7.786,80
Tábua de madeira	m ²	165	15.675,00
Oitões em tábua de madeira	m ²	33,76	3.207,20
Porta interna/externa de madeira	unidade	70	300,00
Estrutura de madeira para telha de zinco galvanizada (vão até 15 m)	m ²	875	1.505,00
Telha ondulada em zinco galvanizado	m ²	875	45.500,00
Cumeeira para telha de zinco galvanizada em chapa lisa	m	43	1.462,00
Tábua de madeira 2" x 3" (sobre peça assoalho)	m ²	800	2.280,00
Rampa móvel em madeira	m	12	342,00
Total			83.976,50

Considerações finais

A adoção das boas práticas de produção ao longo da cadeia produtiva da castanha-da-amazônia, feita de forma ostensiva e progressiva, confere ao produto florestal a qualidade e a segurança requeridas pelos diferentes nichos de mercado que consomem a amêndoa. No médio e longo prazo, quando combinada a sistema de classificação, programas de certificação e selos de garantia de qualidade, essa nova abordagem pode contribuir para acessar mercados específicos, com valorização do produto.

Como a produção ainda é, majoritariamente, concentrada em áreas de extrativismo, com a fase pós-coleta se mostrando crítica devido à elevada umidade do produto, à possibilidade de desenvolvimento de fungos toxigênicos presentes naturalmente no ambiente e ao manejo inadequado, a pré-secagem na unidade de produção pode, além de reduzir os riscos de contaminação por micotoxinas, facilitar o manuseio e o transporte da castanha, sem comprometer sua qualidade nutricional.

A qualidade do lote de castanhas com casca pode ser atestada por baixa umidade do produto, baixa incidência de sementes chochas, baixa incidência de sujidades e nenhuma semente com contaminação visual de fungos – critérios atualmente em processo de definição. Por isso, a castanha que passa por boas práticas de produção, adotando a etapa de pré-secagem, deve ter valor agregado para o produtor devido a maior cuidado e trabalho durante a pós-coleta, redução no custo com o transporte, redução de perdas com o corte aplicado pelo comprador na relação de venda e redução de perdas na agroindústria em razão da melhor qualidade do produto florestal.

O pagamento diferenciado pela qualidade do produto inicial (matéria-prima), no mercado institucional privado ou estatal, pode incentivar a adoção das tecnologias de pré-secagem, assim como o beneficiamento local e a agregação de valor à castanha. Essa abordagem pode incentivar, também, a adoção de tecnologias de manejo florestal, como o plantio de mudas de castanheiras para enriquecimentos de castanhais nativos e em roçados abandonados e para a sustentação do mercado de produtos da sociobiodiversidade amazônica, sujeitos à exploração econômica contínua pelo mercado livre.

É importante destacar que, indiretamente, o pagamento de um valor justo real pelos produtos da sociobiodiversidade contribui para a manutenção da floresta em pé, além de proporcionar benefícios culturais e sociais, como redução da fome, melhoria da qualidade de vida das populações tradicionais, nutrição adequada e diminuição da migração para centros urbanos e da erosão de valores culturais.

De forma complementar, a adoção das boas práticas de produção precisa também incluir ações de assistência técnica e de apoio à infraestrutura de produção. Então, deve estar atrelada a uma estratégia de organização comunitária para a comercialização do produto e visar sempre sua comercialização por valor justo real, com base em programa físico de fomento a esse setor florestal na Amazônia.

De forma a disponibilizar tecnologias cada vez mais adequadas à realidade da região amazônica e eficientes na promoção da qualidade da castanha, como produto florestal, pesquisas que visem o desenvolvimento de novos equipamentos e processos de coleta, pré-secagem e armazenamento deverão contribuir para que a castanha-da-amazônia atinja os padrões de qualidade e a segurança normatizados, o que possibilita renda às famílias extrativistas, melhor qualidade de vida e sustentabilidade da atividade.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução de Diretoria Colegiada – RDC nº 07, de 18 de fevereiro de 2011. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 9 mar. 2011, Seção 1. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2011/res0007_18_02_2011_rep.html. Acesso em: 18 set. 2020.
- ÁLVARES, V. S.; LEITE, F. M. N.; MADRUGA, A. L. S.; SOUZA, J. M. L.; COSTA, D. A. C. Monitoramento da cadeia produtiva da castanha-do-brasil quanto à contaminação por coliformes e fungos em três castanhas do Acre. *In: SEMINÁRIO ANUAL DE COOPERAÇÃO UFAC-UF*, 7, 2009, Rio Branco, AC. Anais [...]. Rio Branco, AC: UFAC, 2009. p. 211-217. CD-ROM.
- ÁLVARES, V. S.; WADT, L. H. O. **Procedimentos para o controle higiênico-sanitário da castanha-do-brasil na floresta**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2011. 16 p.
- BAQUIÃO, A. C.; OLIVEIRA, M. M. M.; REIS, T. A.; ZORZETE, P.; ATAYDE, D. D.; CORRÊA, B. Monitoring and determination of fungi and mycotoxins in stored Brazil nuts. **Journal of Food Protection**, v. 76, n. 8, p. 1414-1420, Aug. 2013. DOI: <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-13-005>.
- BOTELHO, F. M.; BOSCHIROLI NETO, N. J.; BOTELHO, S. de C. C.; OLIVEIRA, G. H. H. de; HAUTH, M. R. Sorption isotherms of Brazil nuts. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 10, p. 776-781, Oct. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n10p776-781>.
- BRABET, C.; VARGAS, E. A.; SANTOS, E. A.; ARAUJO, M. Q.; MEDEIROS, N. L.; LEITE, F. M. N.; SOUZA, J. M. L.; ÁLVARES, V. S.; LINDBLAD, M.; OLSEN, M. Technical recommendations for the prevention and control of aflatoxins in the Brazil nut production chain. *In: INTERNATIONAL SOCIETY FOR MYCOTOXICOLOGY CONFERENCE*, 2009, Vienne, Autriche. **Worldwide mycotoxin reduction in food and feed chains**: Book of abstracts. Bari: ISM, 2009. p. 45.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento. Instrução Normativa nº 11, de 22 de março de 2010. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 23 mar. 2010, Seção 1. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/normativos-cgqv/csh_pov/IN11.pdf/view. Acesso em: 18 set. 2020.
- ALDERARI, 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**, v. 160, n. 3, p. 267-272, Jan. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.10.018>.
- CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION. **CAC/RCP 59-2005**: code of practice for the prevention and reduction of aflatoxins contamination in tree nuts. Rome, Italy, 2005. 9 p.
- COPPOCK, R. W.; CHRISTIAN, R. G.; JACOBSEN, B. J. Aflatoxins. *In: GUPTA, R. C. (ed.)*. **Veterinary Toxicology**: basic and clinical principles. Cambridge: Academic Press, 2018. p. 983-994.
- COSTA, D. A.; ÁLVARES, V. S.; KUSDRA, J. F.; NOGUEIRA, R. M.; MACIEL, V. T.; MIQUELONI, D. P. Quality of in-shell Brazil nuts after drying using a pilot natural convection oven in the state of Acre, Brazil. **Brazilian Journal of Food and Technology**, v. 20, e2015104, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.10415>.
- FERREIRA, S. A. L.; CARNIELLO, M. A. Saberes e práticas dos castanheiros envolvidos com a coleta de castanha (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) no município de Itaúba, Mato Grosso, Brasil. **Gaia Scientia**, v. 12, n. 3, p. 129-144, 2018. DOI: <https://doi.org/10.22478/ufpb.1981-1268.2018v12n3.43242>.

GARCIA-CELA, E.; GARI SANCHEZ, F.J.; SULLYOK, M.; VERHEECKE-VAESSEN, C.; MEDINA, A.; KRŠKA, R.; MAGAN, N. Carbon dioxide production as an indicator of *Aspergillus flavus* colonisation and aflatoxins/cyclopiazonic acid contamination in shelled peanuts stored under different interacting abiotic factors. **Fungal Biology**, v. 124, n. 1, p. 1-7, Jan. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2019.10.003>.

GONCALVES, R. C.; ALVARES, V. S.; CARTAXO, C. B. C.; WADT, L. H. O.; SOUZA, J. M. L.; DE LIMA, A. C. **Secador estacionário a ar aquecido forçado artificialmente**: inovação tecnológica na secagem de sementes de castanheira da Amazonia (*Bertholletia excelsa*). Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2010. 4 p. (Embrapa Acre. Comunicado técnico, 174). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/872684>. Acesso em: 15 jan. 2022.

ISMAIL, A.; GONÇALVES, B. L.; NEEFF, D. V.; PONZILACQUA, B.; COPPA, C. F. S. C.; HINTZSCHE, H.; SAJID, M.; CRUZ, A. G.; CORASSIN, C. H.; OLIVEIRA, C. A. S. Aflatoxin in foodstuffs: occurrence and recent advances in decontamination. **Food Research International**, v. 113, p. 74-85, Nov. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.067>.

LIMA, A. M.; GONÇALVES, E. C.; ANDRADE, S. S.; BARBOSA, M. S. R.; BARROSO, K. F. P.; SOUSA, M. B.; BORGES, L.; VIEIRA, J. L. F.; TEIXEIRA, M. Critical points of Brazil nuts: a beginning for food safety, quality control and Amazon Sustainability. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, n. 4, p. 735-740, Mar. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.5793>.

MAZIERO, M. T.; BERSOT, L. S. Micotoxinas em alimentos produzidos no Brasil. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 12, n. 1, p.89-99, 2010.

MUNIZ, M. A. P.; SANTOS, M. F.; COSTA, C. E.; MORAIS, L.; LAMARÃO, M. L. N.; RIBEIRO-COSTA, R.; SILVA-JÚNIOR, O. C. Physicochemical characterization, fatty acid composition, and thermal analysis of *Bertholletia excelsa* HBK oil. **Pharmacognosy Magazine**, v. 11, n. 41, p. 147-151, Jan./Mar. 2015. DOI: <https://doi.org/10.4103/0973-1296.149730>.

NOGUEIRA, R. M. **Secagem da castanha-do-brasil em condições de floresta e carbonização do resíduo do fruto da castanheira**. 2011. 150 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

NOGUEIRA, R. M.; ÁLVARES, V. S. **Secador à alta temperatura por convecção natural**: solução para a pré-secagem da castanha-do-brasil no campo. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2012. 6 p. (Embrapa Acre. Comunicado técnico, 182). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/995172>. Acesso em: 15 jan. 2022.

ÖZCAN, M. M.; AL JUHAIMI, F.; USLU, N. The effect of heat treatment on phenolic compounds and fatty acid composition of Brazilian nut and hazelnut. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 1, p. 376-380, Jan. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2947-3>.

PERAICA, M. Mycotoxicoses. In: VIEGAS, C.; PINHERO, A. C.; SABINO, R.; VIEGAS, S.; BRANDÃO, J.; VERÍSSIMO, C. (ed.). **Environmental mycology in public health**: fungi and mycotoxins risk assessment and management. Cambridge, Massachusetts: Academic Press, 2016. Cap. 5, p. 45-49. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-411471-5.00005-3>.

PIMENTA, A. V.; RODRIGUES, E. C.; SILVA, O.; AGUIAR, O. R. E.; GUEDES, M. C. Uso de paiol e secador solar para agregação de valor e secagem de castanha-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) na resex Cajari, Amapá. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE UNIVERSIDADES SUSTENTÁVEIS, 2., 2015, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre, RS: UFRGS, 2015.

ROTIMI, O. A.; ROTIMI, S. O.; DURU, C. U.; EBEBEINWE, O. J.; ABIODUN, A. O.; OYENIYI, B. O.; FADUYILE, F. A. Acute aflatoxin B1 – Induced hepatotoxicity alters gene expression and disrupts lipid and lipoprotein metabolism in rats. **Toxicology Reports**, v. 4, p. 408-414, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2017.07.006>.

SÁ, C. P.; BAYMA, M. M. A.; WADT, L. H. O. **Coefficientes técnicos, custo e rentabilidade para a coleta de castanha-do-brasil no Estado do Acre**: sistema de produção melhorado. Rio Branco: Embrapa Acre, 2008. (Embrapa Acre. Comunicado técnico, 168). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/494706/1/comunicado168.pdf>. Acesso em: 29 set. 2020.

SACRAMENTO, T. R. Importância da contaminação de alimentos por aflatoxinas para a incidência de câncer hepático. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 18, n. 1, p. 141-169, jan./jun. 2016. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/RECEN/article/view/3695>. Acesso em: 29 set. 2020.

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 different extraction processes. **Food Research International**, v. 47, n. 2, p. 235-258, July 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.06.038>.

SILVA, O. **Guia prático para construção de paiol de pré-secagem e armazenamento de castanha**. Macapá, AP: Instituto Estadual de Florestas, 2017.

SOUZA, J. M. L.; CARTAXO, C. B. C.; LEITE, F. M. N.; SANTOS, J. C.; WADT, L. H. O.; GONÇALVES, L. M. P. B.; MAUÉS, M. M.; ÁLVARES, V. S. **Árvore do conhecimento**: castanha-do-brasil. Embrapa. 2010. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/castanha-do-brasil/arvore/CONT000fthgk4pc02wyiv80otz6x9wwk4r7f.html>. Acesso em: 29 out. 2020.

TANIWAKI, M. H.; FRISVAD, J. C.; FERRANTI, L. S.; LOPES, A. S. L.; LARSEN, T. O.; FUNGARO, M. H. P.; IAMANAKA, B. T. Biodiversity of mycobiota throughout the Brazil nut supply chain: From rainforest to consumer. **Food Microbiology**, v. 61, p. 14-22, Feb. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.08.002>.

Capítulo 3

Composição nutricional de amêndoas e do óleo

Joana Maria Leite de Souza; Marcus Arthur Marçal de Vasconcelos; Otniel Freitas-Silva; Cleisa Brasil da Cunha Cartaxo.

Introdução

A castanheira-da-amazônia é uma árvore de variados usos; sua madeira possui boas propriedades para construção civil e naval (Paiva; Guedes, 2008). É importante ressaltar que, como é uma árvore protegida por lei, seu abate só será permitido quando for ela oriunda de reflorestamento. Os ouriços da castanheira podem ser utilizados na confecção de pisos e artesanatos e como combustível, na forma de carvão. Sua amêndoa, conhecida como castanha-da-amazônia, é um alimento rico em proteínas, lipídios e vitaminas, de modo que pode ser consumida *in natura* ou usada para extração do extrato hidrossolúvel, popularmente conhecido como “leite de castanha”, e do óleo, de grande valor na culinária regional e na indústria de cosméticos; do resíduo da extração do óleo, obtém-se a torta ou o farelo, usados em misturas com farinhas e rações (Figura 1).

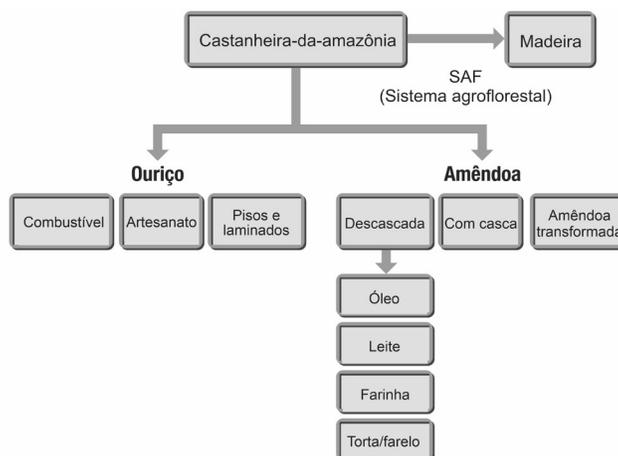


Figura 1. Castanha-da-amazônia (*Bertholletia excelsa*): possibilidades de usos e aproveitamento dos diferentes resíduos.

A amêndoa da castanha-da-amazônia é apreciada por seu sabor característico, mas também pelo seu valor nutricional, pois possui grande valor energético e biológico proveniente de seus macronutrientes. É considerada, portanto, um excelente complemento na dieta alimentar de crianças e adultos, sendo rica em lipídios, vitaminas, minerais e proteínas (Freitas-Silva; Venâncio, 2011).

Composição nutricional

A proteína da amêndoa é rica em todos os aminoácidos essenciais, com elevado teor dos sulfurados (metionina e cisteína), geralmente insuficientes em proteínas vegetais. Na torta da amêndoa, os aminoácidos essenciais encontram-se em valores acima do padrão teórico da Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (FAO, 1985; Souza; Menezes, 2004; Souza, 2013). Por esse motivo, sugere-se que seja feita uma mistura dessa torta, com outras matérias-primas, com o objetivo de enriquecê-las em qualidade e quantidade proteicas (Souza; Menezes, 2008). Em relação ao valor calórico, a amêndoa apresenta 676,56 kcal/100 g, enquanto sua torta apresenta cerca de 400,60 kcal/100 g devido à extração de lipídios. Esse elevado valor calórico se deve ao alto percentual de lipídios que contribuem para elevar o seu valor energético (Souza; Menezes, 2004; Pacheco; Scussel, 2006). Sua elevada composição em óleo (em média, mais de 60% do seu peso fornece aproximadamente 9 kcal/g de lipídio) faz com que seja considerada um alimento rico do ponto de vista calórico.

De maneira geral, as nozes são ricas em lipídios benéficos à saúde, como os ácidos graxos monoinsaturados (MUFAS) e os ácidos graxos poli-insaturados (PUFAS). O alto teor de lipídios ($66,16 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) e de proteínas ($15,52 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) na amêndoa da castanha-da-amazônia é uma indicação de sua relevância, do ponto de vista nutricional, uma vez que grande parte da fração graxa é composta de ácido graxo oleico (38%) e de ácido graxo linoleico (35%), reconhecidos universalmente como ácidos graxos essenciais de grande relevância para a alimentação humana e indústria de cosméticos (Rodrigues et al., 2005; Freitas et al., 2007; Cardoso et al., 2017).

A castanha-da-amazônia apresenta também alto teor de ácido linoleico PUFA (C18: 2, $\omega 6$) (36%–37%), que é um ácido graxo essencial. Além disso, apresenta composição balanceada de ácidos graxos com concentrações significativas de MUFAs e ácidos graxos saturados. Dessa forma, os principais ácidos graxos presentes na castanha-da-amazônia são os ácidos oleico (C18: 1, $\omega 9$), linoleico (C18: 2, $\omega 6$) e palmítico (C16: 0), com teores superiores aos encontrados em outras nozes (Danielski et al., 2021) (Tabela 1).

Tabela 1. Composição centesimal da castanha-da-amazônia (g = grama; mg = miligrama; mcg = micrograma; kcal = quilocaloria; DFE = equivalentes de folato na dieta).

Componente	Unidade	Valor /100 g
Água	g	3,48
Energia	kcal	656,00
Proteína	g	14,32
Lipídios totais	g	66,43
Cinza	g	3,51
Carboidratos (por diferença)	g	12,27
Fibra (dietética total)	g	7,50
Açúcares (total)	g	2,33
Sucrose	g	2,33
Amido	g	0,25
Minerais		
Cálcio	mg	160,00
Ferro	mg	2,43
Magnésio	mg	376,00
Fósforo	mg	725,00
Potássio	mg	659,00
Sódio	mg	3,00
Zinco	mg	4,06
Cobre	mg	1,743
Manganésio	mg	1,223
Selênio	mcg	1.917,00
Vitaminas		
Vitamina C (ácido ascórbico total)	mg	0,70
Tiamina	mg	0,617
Riboflavina	mg	0,035
Niacina	mg	0,295
Ácido pantotênico	mg	0,184
Vitamina B-6	mg	0,101
Folato, total	mcg	22,00
Folato (alimento)	mcg	22,00
Folato (DFE)	mcg_DFE	22,00

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Componente	Unidade	Valor /100g
Colina (total)	mg	28,80
Betaína	mg	0,40
Vitamina E (alfa-tocoferol)	mg	5,73
Tocoferol gama	mg	7,87
Tocoferol delta	mg	0,77
Lipídios		
Ácidos graxos (total saturados)	g	15,137
Ácidos graxos (total monoinsaturados)	g	24,548
Ácidos graxos (total poli-insaturados)	g	20,577
Aminoácidos		
Triptofano	g	0,141
Treonina	g	0,362
Isoleucina	g	0,516
Leucina	g	1,155
Lisina	g	0,492
Metionina	g	1,008
Cistina	g	0,367
Fenilalanina	g	0,63
Tirosina	g	0,42
Valina	g	0,756
Arginina	g	2,148
Histidina	g	0,386
Alanina	g	0,577
Ácido aspártico	g	1,346
Ácido glutâmico	g	3,147
Glicina	g	0,718
Prolina	g	0,657
Serina	g	0,683

Fonte: Adaptados de International Nut Council /USDA National Nutrient Database for Standard Reference (International Nut Council, 2020).

Na composição da castanha-da-amazônia (Tabela 1), podem-se ainda observar valores significativos de micronutrientes, como cálcio (Ca), fósforo (P), magnésio (Mg), vitaminas do complexo B, sendo, atualmente, uma das mais citadas fontes alimentares de selênio (Se) (Cardoso et al., 2017). Vale ressaltar que, para além da suplementação desse mineral em pacientes gravemente doentes e com deficiência de Se, tema de outros capítulos deste livro, o Se também tem sido relacionado ao tratamento da covid-19 e apresenta papel relevante para a convalescença de pessoas adoecidas por esse vírus (Moghaddam et al., 2020).

Além dos nutrientes associados à composição da semente da castanha-da-amazônia, ainda podem-se encontrar compostos fenólicos e flavonoides, porém em concentrações inferiores aos alimentos considerados ricos dessas substâncias (Danielski et al., 2021). Esses compostos podem apresentar sinergia e gerar benefícios à saúde humana, pois estudos os associam à diminuição da peroxidação lipídica. Por ser rica em ácidos graxos insaturados, a castanha-da-amazônia ainda pode auxiliar na redução da pressão arterial, na prevenção da resistência à insulina e na redução de níveis de marcadores inflamatórios sistêmicos (Massi et al., 2014; Colpo et al., 2014). Nesse sentido, a ingestão regular de castanha-da-amazônia está relacionada também à promoção da saúde humana e ao melhoramento de quadros clínicos de algumas patologias.

Devido à sua composição nutricional, a castanha-da-amazônia se destaca por suas propriedades funcionais. A reunião de todas essas características a torna um produto valioso, que pode ser considerado como alimento nutracêutico (John; Shahidi, 2010), altamente versátil, pois apresenta aplicações desde o consumo *in natura* até a possível utilização dos seus compostos bioativos na culinária e na indústria de alimentos, farmacêutica e de cosméticos (Oliveira et al., 2020).

Metais pesados nas amêndoas

A castanha-da-amazônia é reputada como excelente fonte de Se e, entre todas as nozes comestíveis, apresenta o maior teor desse mineral. No entanto, a fração mineral dessas castanhas vai além do Se, sendo que outros minerais são acumulados ao longo do crescimento da planta e armazenados nas sementes. Castanhas e nozes possuem pouco sódio (Na) e são boas fontes de potássio (K), o qual reduz a pressão sanguínea. No entanto, Cardoso et al. (2017) observaram que as amêndoas de castanha-da-amazônia podem acumular metais tóxicos, como estrôncio (Sr) e bário (Ba), e elementos carcinogênicos, como rádio (Ra).

A concentração de Sr encontrada nas amêndoas varia de $38,7 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a $184 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Já a concentração de Ba encontrada em amostras de castanha-da-amazônia varia entre de $0,012 \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ a $7,177 \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, sendo que a quantidade diária aceitável desse composto é $0,21 \text{mg}$ por kg de peso corpóreo por dia. O Ba disponível na castanha está na forma insolúvel (sulfato de bário e selenato de bário), não é biodisponível e pode causar efeitos tóxicos ao organismo. Apesar de o Ra ser um composto radioativo e de a castanha conter três isótopos desse elemento (^{224}Ra , ^{226}Ra e ^{228}Ra), apresentando $0,16 \mu\text{Sv}$ em aproximadamente 5g de amêndoas, isso não chega a constituir nível relevante para causar toxicidade em adultos (Cardoso et al., 2017).

Amostras de castanha-da-amazônia apresentaram alto teor de magnésio, com valores de até $5.307 \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, quando comparadas com outras nozes e sementes estudadas (amendoins, avelãs, nozes, pistache, castanha-de-caju, pinhões, macadâmia e amostras de sementes de plantas oleaginosas, como girassol, abóbora, gergelim, papoula e linho). Apresentaram também o maior valor para K ($6.066 \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) e Ca ($1.887 \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), sendo fontes potenciais desses minerais (Lozna et al., 2020). Brito et al. (2019) avaliaram os minerais em diferentes amostras de castanhas (com e sem casca, na forma de biscoito e no óleo) e obtiveram resultados que variaram para os teores de Ba ($2,4 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a $1.054 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), K ($337 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ e $2.981 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), Mg ($186 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ e $3.761 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), Ca ($142 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ e $3.436 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), P ($64,9 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ e $6.708 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) e Se ($1,2 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ e $151 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Assim, as maiores concentrações desses minerais foram observadas nas amêndoas, com e sem casca, e ocorreram variações nos valores, dependendo do tipo de amostra.

Compostos fenólicos nas sementes

Os compostos fenólicos são metabólitos secundários e compostos bioativos, que compreendem seis subclasses: antocianidinas, flavonas, isoflavonas, flavonóis, flavanonas e flavanóis. Possuem atividade biológica como moduladores de diversas funções, são antioxidantes e atuam na defesa contra processos inflamatórios e mutagênicos. Estudos conduzidos para determinar o teor de compostos fenólicos totais em amêndoas de castanha-da-amazônia obtiveram valores de $66,40 \text{mg}$ equivalentes de ácido gálico 100g^{-1} , o que afirma seu potencial como agente antioxidante (Souza, 2018).

John e Shahidi (2010) analisaram a capacidade antioxidante e os compostos fenólicos da película marrom, da casca e da amêndoa de castanha-da-amazônia como um todo e obtiveram os seguintes valores para compostos fenólicos extraídos

com acetona: 1.236,06 mg AG/100 g, 406,83 mgAG/100 g e 519,1 1 mG/100 g, respectivamente. Os fenóis livres e ligados, que foram identificados e quantificados nesse estudo, incluem nove ácidos fenólicos, flavonoides e seus derivados. Quanto aos fenóis ligados na película, casca e amêndoa de castanha-da-amazônia, os valores obtidos foram de 352,48 mgAG/100 g, 18,60 mgAG/100 g e 4,11 mgAG/100 g, respectivamente. Assim, na película marrom, predominaram fenóis e maior capacidade antioxidante.

Óleo das amêndoas

As amêndoas da castanha-da-amazônia sempre se destacaram como oleaginosas. Pesce (2009), ao falar disso na primeira versão da sua obra, em 1941, observa que “a amêndoa contém 70% a 72% de óleo doce, de perfume agradável e com gosto semelhante ao óleo de oliveira da Europa. Este óleo quando envelhecido torna-se de cor amarelo-escura, com cheiro desagradável de ranço”. Entretanto, para obtenção de óleo com qualidade, devem-se observar alguns cuidados, como: avaliar se as amêndoas estão secas; eliminar as atacadas por fungos, microrganismos, insetos ou animais; descartar também as rachadas, quebradas e úmidas em excesso, uma vez que óleo e água não são compatíveis. Com esses cuidados, pode-se obter óleo e torta sem contaminações e isentos de micotoxinas. Importante ressaltar ainda que, para o óleo de qualidade, as amêndoas destinadas à extração devem passar por certos cuidados, como permanecer armazenadas em embalagens com barreiras contraluz, umidade e oxigênio. Além disso, seu armazenamento não pode ultrapassar 9 meses, pelo risco de haver a formação de peróxidos (Souza, 2013).

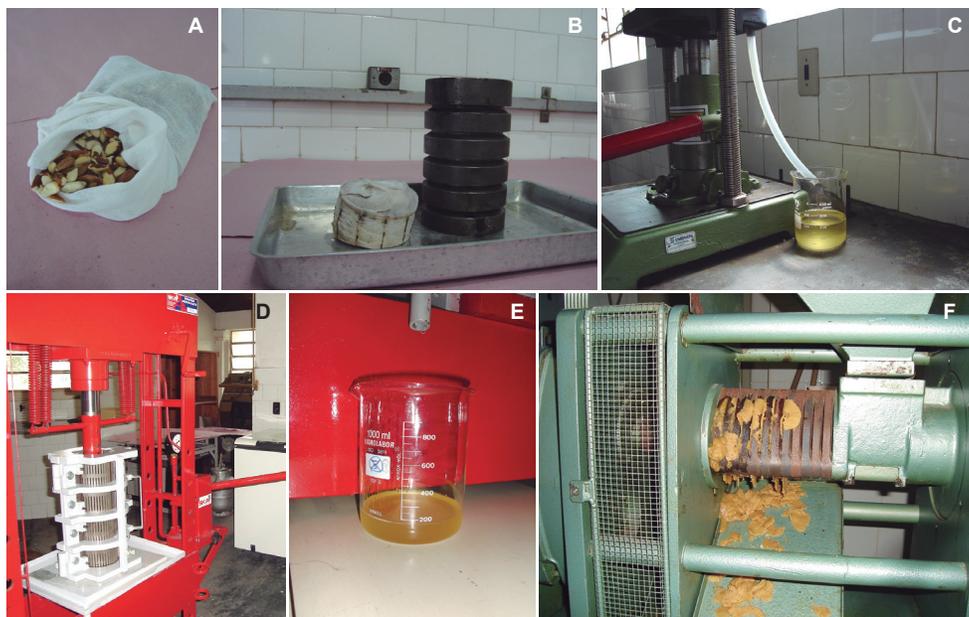
Antes do processo de extração, no intuito de facilitar o escoamento do óleo, faz-se um tratamento térmico (máximo a 60 °C), tanto para inativar enzimas e desnaturar proteínas, como para condicionar a umidade antes da extração e liberação do óleo; recomenda-se a utilização de equipamentos próprios para esse condicionamento, tais como condicionadores industriais, que são vasos industriais com vapor que circula no cesto de compressão (Singh; Bargale, 2000). Quando o óleo extraído apresenta elevado teor de sedimentos, podem ser utilizados filtros prensa para obtenção de produto límpido. O óleo bruto, de modo geral, apresenta características próprias e pode enfrentar dificuldades de comercialização. Portanto, recomenda-se que, antes de embarcar em empreendimentos comerciais, se avalie o mercado potencial tanto para o óleo quanto para a torta parcialmente desengordurada (Antoniassi, 2012).

Santos (2012) relata que o método mais utilizado para obtenção do óleo é a prensagem a frio ou a quente e que faz uso de prensa mecânica ou hidráulica. De acordo com Antoniassi (2012), as amêndoas de castanha, por conter entre 60% e 70% de óleo, podem ter o óleo extraído em prensas hidráulicas (processo em batelada ou descontínuo) ou em prensas contínuas denominadas “expeller” (processo contínuo). As prensas hidráulicas apresentam o cilindro perfurado em que se desloca um êmbolo que faz pressão sobre as amêndoas contidas em um saco de pano ou lona. Já a prensa do tipo contínua possui rosca ou parafuso sem fim que esmaga o material e libera o óleo.

Santos (2012) observa que a desvantagem, ao utilizar a prensagem, é o conteúdo residual de óleo na torta, que se mantém elevado e implica perdas no rendimento da extração. Outros processos podem ser utilizados para aumentar a eficiência da extração do óleo, por exemplo, destacar a extração com utilização de fluidos supercríticos e a extração sólido-líquido mediante solventes como o hexano, éter de petróleo, etanol, metanol, clorofórmio, entre outros; esses solventes podem ser isolados ou em combinações. A vantagem da extração com utilização de solventes é a facilidade na recuperação do solvente, com taxas de até 99,9%, enquanto a desvantagem é que são produtos inflamáveis, e alguns possuem baixo ponto de ebulição, além da toxicidade dos solventes utilizados e da presença de resíduo do solvente no material extraído.

A extração do óleo com fluidos supercríticos é um método promissor, pois utiliza gases, que, sob determinadas condições de pressão e temperatura, atuam como fluidos que interagem com a matriz e se ligam à fração oleosa, carregando-a para fora da torta. Ao ser expostos às condições ambientais, os fluidos retornam ao seu estado natural e volatilizam, o que deixa o óleo isento de resíduos. O gás mais estudado para uso em extração vem sendo o dióxido de carbono (CO_2), por ser inerte e não alterar as características dos produtos obtidos. A desvantagem desse método é o elevado custo dos equipamentos, o que limita a tecnologia ao fracionamento de matéria-prima com elevado valor agregado, por isso é pouco utilizado industrialmente (Santos, 2012).

Para fins de comparação, relata-se a obtenção de 52% de óleo mediante prensa hidráulica, 67,73% mediante hexano, 67,32% mediante éter de petróleo e 67,2% mediante fluido supercrítico (CO_2) (Santos, 2012). Na Figura 2, podem ser visualizados materiais e equipamentos utilizados na extração do óleo da castanha-da-amazônia por prensagem.



Fotos: Marcus Arthur Marçal de Vasconcelos

Figura 2. Extração de óleo da castanha-da-amazônia por prensagem: (A) amêndoas desidratadas de castanha-da-amazônia em saco de tecido utilizado para contenção e filtração; (B) cilindro de contenção com as tortas residuais, após a prensagem, ainda no saco utilizado para filtração; (C) óleo obtido de prensa hidráulica de bancada; (D) prensa hidráulica que apresenta o cilindro de contenção e o pistão de prensagem; (E) obtenção de óleo após prensagem; (F) prensa contínua do tipo expeller.

Características físico-químicas e propriedades nutricionais do óleo

As características físicas e químicas dos óleos da castanha-da-amazônia variam de acordo com o processo de extração. Dados de acidez (0,81% a 0,32% expresso em ácido oleico) e índice de peróxido (2,93 mEq kg⁻¹ a 4,06 mEq kg⁻¹) variam em função do método utilizado (prensa hidráulica, solventes hexano e éter de petróleo, fluido supercrítico - CO₂), mas estão de acordo com as normas da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) para óleos prensados a frio e não refinados. Entretanto, ocorre variação na cor em função do método de extração do óleo, com dados colorimétricos variados entre 38,53 ΔE a 41,06 ΔE (Santos, 2012).

Dos componentes existentes na castanha-da-amazônia que possuem relevância nutricional, a vitamina E, composta por tocoferóis e tocotrienóis (α , β , γ e δ), é uma das mais relevantes. Os tocoferóis e tocotrienóis são antioxidantes solúveis em lipídios, que têm a função de evitar a oxidação do óleo contido nas amêndoas. Costa et al. (2020) determinaram a composição de tocoferóis em óleos obtidos das amêndoas da castanha e obtiveram para α -Tocoferol o valor de 32,13 mg.kg⁻¹; para β -Tocoferol, 1,30 mg.kg⁻¹; para γ -Tocoferol, 81,23 mg.kg⁻¹; e para δ - Tocoferol, 8,00 mg.kg⁻¹. Funasaki et al. (2013), estudando amostras de óleo obtidas de diferentes localizações geográficas, determinaram que os valores obtidos para o α -Tocoferol variaram de 37,92 μ g.g⁻¹ a 145,45 μ g.g⁻¹; o γ Tocoferol variou de 38,71 μ g.g⁻¹ a 581,19 μ g.g⁻¹, não sendo detectados β -Tocoferol nem δ -Tocoferol com a técnica adotada nas amostras estudadas. Esses resultados podem levar à inferência de que a origem geográfica, o método de extração, as condições de armazenamento do óleo e os fatores edafoclimáticos podem influenciar a composição dos tocoferóis.

Outros componentes estudados nos óleos são os fitosteróis, responsáveis pela redução da absorção de colesterol, manutenção da membrana celular e inibição da síntese do colesterol no fígado de seres humanos. No óleo da castanha, observou-se a presença de β -sitosterol (51,07 mg 100 g⁻¹) e de estigmasterol (2,29 mg 100 g⁻¹) (Costa et al., 2020).

Potencial tecnológico

O potencial tecnológico da castanha-da-amazônia é elevado, visto que, além de ser um alimento de consumo prático e conveniente, sua composição nutricional é relevante para a saúde do ser humano. Diferentes tecnologias vêm sendo desenvolvidas para gerar produtos com maior valor agregado, e o óleo, a torta residual, a película de cor marrom que recobre a amêndoa e a casca da amêndoa, tudo pode ser aproveitado. O óleo vem sendo utilizado na indústria farmacêutica, cosmética e de alimentos. A torta residual, obtida da extração de óleo, apresenta elevado teor de proteína e pode ser usada em formulações alimentícias ou na alimentação animal. Das amêndoas, é possível obter um extrato hidrossolúvel centrifugado que popularmente é chamado de “leite da castanha”, especialmente utilizado na culinária. Além de tudo isso, o uso das amêndoas em produtos obtidos por extrusão, ou seja, forma de cocção contínua e uniforme, utilizada na indústria de alimentos para snacks, cereais e outros produtos, cria possíveis novos mercados para as amêndoas de castanha-da-amazônia (Kluczkowski et al., 2015).

O desenvolvimento de outros produtos da castanha dependerá da escala de produção que for adotada. Como a qualidade da matéria-prima implicará diretamente a qualidade dos coprodutos obtidos, além de avaliar os mercados e as possibilidades tecnológicas para agregação de valor às amêndoas de castanha-da-amazônia, paralelamente, é importante resolver os gargalos da cadeia produtiva que interferem na qualidade dessas castanhas.

Referências

- ANTONIASI, R. **Prensagem em pequena escala**, 2012. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia_de_alimentos/arvore/CONT000gc8yujq302wx5ok01dx9lculdguwx.html. Acesso em: 7 jul. 2020.
- BRITO, R. C. M. de; JUNIOR, J. B. P.; DANTAS, K. G. F. Quantification of inorganic constituents in Brazil nuts and their products by inductively coupled plasma optical emission spectrometry. **LWT – Food Science and Technology**, v. 16, Dec. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108383>.
- CARDOSO, B. R.; DUARTE, G. B. S.; REIS, B. Z.; COZZOLINO, S. M. F. Brazil nuts: Nutritional composition, health benefits and safety aspects. **Food Research International**, v. 100, part 2, p. 9-18, Oct. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.08.036>.
- COLPO, E.; VILANOVA, C. D. D. A.; REETZ, L. G. B.; DUARTE, M. M. F.; FARIAS, I. L. G.; MEINERZ, D. F.; MARIANO, D. O. C.; VENDRUSCULO, R. G.; BOLIGON, A. A.; CORTE, C. L. D.; WAGNER, R.; ATHAYDE, M. L.; ROCHA, J. B. T. Brazilian nut consumption by healthy volunteers improves inflammatory parameters. **Nutrition**, v. 30. n. 4, p. 459-465, Apr. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nut.2013.10.005>.
- COSTA, T.; VERONEZI, C. M.; JORGE, N. Chemical and bioactive properties of the oils from Brazilian nuts. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 19, n. 2, p. 180-186, 2020. DOI: <https://doi.org/10.18188/sap.v19i1.24152>.
- DANIELSKI, R., POLMANN, G., BLOCK, J. M. Valorization of native nuts from Brazil and their coproducts, innovation in the food sector through the valorization of food and agro-food by-products. In: BARROS, A. N. de; GOUVINHAS, I. (ed.). **Innovation in the food sector through the valorization of food and agro-food by-products**. London, UK: IntechOpen, 2020. Cap. 8. DOI: 10.5772/intechopen.95056.
- FAO. **Energy and protein requirements** : report of a Joint FAO/WHO/ONU Expert Consultation [held in Rome from 5 to 17 October 1981]. Rome, Italy: FAO: WHO: ONU, 1985. (World Health Organization report series, 724).
- FREITAS, S. P.; FREITAS-SILVA, O.; MIRANDA, I. C. de; COELHO, M. A. Z. Extração e fracionamento simultâneo do óleo da castanha-do-brasil com etanol. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, p. 14-17, ago. 2007. Sup. 1. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000500002>.
- FREITAS-SILVA, O.; VENÂNCIO, A. Brazil nuts: benefits and risks associated with contamination by fungi and mycotoxins. **Food Research International**, v. 44, n. 5, p. 1434-1440, June 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.047>.

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 Amazonica**, v. 43, n. 4, p. 505-510, dez. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672013000400012>.

INTERNATIONAL NUT COUNCIL. **Brazil Nut**. Disponível em: <https://www.nutfruit.org/nutfruit/brazil-nuts/>. Acesso em: 20 fev. 2020.

JOHN, J. A.; SHAHIDI, F. Phenolic compounds and antioxidant activity of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*). **Journal of Functional Foods**, v. 2, n. 3, p. 196-209, July 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2010.04.008>.

KLUCZKOWSKI, A. M.; MARTINS, M.; MUNDIM, S. M.; SIMOES, R. H.; NASCIMENTO, K. S.; MARINHO, H. A.; KLUCZKOVSKI JUNIOR, A. Properties of Brazil nuts: a review. **African Journal of Biotechnology**, v. 14, n. 8, p. 642-648, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJB2014.14184>.

LOŻNA, K.; MARZENA S.; JADWIGA, B.; JOANNA, H.; MACIEJ B.; CIURA, F. D.; BIERNAT, J.; MONIKA, B. Mineral composition of tree nuts and seeds. **Journal of Elementology**, v. 24, n. 2, p. 745-756, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.5601/jelem.2019.24.4.1915>.

MASSI, F. P.; VIEIRA, M. L. C.; SARTORI, D.; PENHA, R. E. S.; MUNHOZ, C. F.; FERREIRA, J. M.; IAMANAKA, B. T.; TANIWAKI, M. H.; FRISVAD, J. C.; FUNGARO, M. H. P. Brazil nuts are subject to infection with B and G aflatoxin producing fungus, *Aspergillus pseudonymous*. **International Journal of Food Microbiology**, v. 186, p. 14-21, Sept. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.06.006>.

MOGHADDAM, A.; HELLER, R. A.; SUN, Q.; SEELIG, J.; CHERKEZOV, A.; SEIBERT, L.; HACKLER, J.; SEEMANN, P.; DIEGMANN, J.; PILZ, M.; BACHMANN, M.; MINICH, W. B.; SCHOMBURG, L. Selenium deficiency is associated with mortality risk from COVID-19. **Nutrients**, v. 12, n. 7, p. 2098, July 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu12072098>.

OLIVEIRA, T. M. S.; FREITAS-SILVA, O.; KLUCZKOVSKI, A. M.; CAMPELO, P. H. Potential use of vegetable proteins to reduce Brazil nut oil oxidation in microparticle systems. **Food Research International**, v. 137, 109526, Nov. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109526>.

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

PAIVA, P. M.; GUEDES, M. C. Regeneração natural de castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) em área de capoeira no Amapá. In: SEMINÁRIO DO PROJETO KAMUKAIA, 1., 2008, Rio Branco, AC. **Manejo sustentável de produtos florestais não-madeireiros na Amazônia**: anais. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2008. p. 25-33.

PESCE, C. **Oleaginosas da Amazônia**. 2. ed. rev. e atual. Belém, PA: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2009. 333 p.

RODRIGUES, J. E.; ARAÚJO, M. E.; AZEVEDO, F. F. M.; MACHADO, N. T. Phase equilibrium measurements of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) oil supercritical carbon dioxide. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 34, n. 2, p. 223-229, June 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2004.11.018>.

SANTOS, O. V. dos. **Estudo das potencialidades da castanha-do-brasil: produtos e subprodutos**. 2012. 2014 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/9/9133/tde-10092012-110036/pt-br.php>. Acesso em: 7 jul. 2020.

SINGH, J.; BARGALE, P. C. Development of a small capacity double stage compression screw press for oil expression. **Journal of Food Engineering**, v. 43, n. 2, p. 75-82, Feb. 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(99\)00134-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(99)00134-X).

SOUZA, I. S. de. **Avaliação da capacidade antioxidante e compostos fenólicos em três sementes oleaginosas**: castanha-do-brasil, castanha de caju e noz pecã. 2018. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São Paulo. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/154766/souza_is_me_arafcf_int.pdf?sequence=6&isAllowed=y. Acesso em: 7 jul. 2020.

SOUZA, J. M. L. **Caracterização e efeitos do armazenamento de amêndoas com películas e despelculadas sobre propriedades das frações protéica e lipídica de castanha-do-brasil**. 2013. 127 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

SOUZA, M. L.; MENEZES, H. C. Processamento de amêndoas e torta de castanha-do-brasil e farinha de mandioca: parâmetros de qualidade. **Food Science and Technology**, v. 24, n. 1, p. 120-128, mar. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612004000100022>.

SOUZA, M. L.; MENEZES, H. C. Extrusão de misturas de castanha-do-brasil com mandioca. **Food Science and Technology**, v. 28, n. 2, p. 451-462, jun. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000200029>.

Capítulo 4

Intervenções nutricionais em diferentes contextos de saúde e doença

Graziela Biude Silva Duarte; Bruna Zavarize Reis; Silvia Maria Franciscato Cozzolino

Introdução

A castanha-da-amazônia faz parte do grupo alimentar das oleaginosas devido ao seu elevado teor de gorduras. Ela apresenta características nutricionais comuns ao grupo das castanhas – cerca de 65% do seu valor energético é proveniente de lipídios, com baixo conteúdo de ácidos graxos saturados (AGS), alto teor de ácidos graxos monoinsaturados (AGMI) e poli-insaturados (AGPI) (Pires, 2012; Cardoso et al., 2017).

Pesquisas sobre o consumo de oleaginosas e seus potenciais benefícios à saúde vêm sendo realizadas com especial destaque à redução do risco de doenças cardiovasculares (DCV) e diabetes (Del Gobbo et al., 2015; Asghari et al., 2017). Tendo em vista os benefícios comprovados do consumo de nozes na saúde cardiovascular, a Food and Drug Administration (FDA) – agência norte-americana que estuda, testa e regulamenta os alimentos e medicamentos nos Estados Unidos da América – emitiu uma súmula para permitir o uso de informações sobre esses benefícios em rótulos de nozes e castanhas (US Food And Drug Administration, 2003). Desde então, as oleaginosas foram incorporadas a diversas diretrizes para uma alimentação saudável em vários países, como Alemanha, Austrália e EUA (National Health and Medical Research Council, 2013; Us Dietary Guidelines Advisory Committee, 2015; Kromhout et al., 2016).

As castanhas mais estudadas internacionalmente são: amêndoas, avelã, nozes, pistache e macadâmia. No Brasil, a castanha-da-amazônia é uma das mais estudadas, principalmente devido à sua composição em minerais, com altas concentrações de selênio (Se), magnésio (Mg), fósforo (P), cobre (Cu) e zinco (Zn),

quando comparada a outras castanhas, embora tenha baixa concentração de ferro (Fe) e cálcio (Ca). Nenhum outro alimento fornece quantidades tão relevantes de Se, embora as concentrações desse elemento possam variar a depender do local e do solo onde a árvore cresce (Silva Júnior et al., 2017). No Laboratório de Nutrição e Minerais (FCF-USP), foram analisadas amostras de castanhas-da-amazônia obtidas de vários estabelecimentos comerciais, tanto em São Paulo como em outras regiões do Brasil, e os valores da concentração de Se variaram de $5 \mu\text{g.g}^{-1}$ a $250 \mu\text{g.g}^{-1}$. Nesse sentido, se considerarmos que a recomendação de ingestão diária desse micronutriente para adultos é de $55 \mu\text{g.dia}^{-1}$ (Otten et al., 2006), uma única noz (peso aproximado de 5 g) pode conter cerca de $25 \mu\text{g}$ a $1.250 \mu\text{g}$ de Se, o que supre facilmente as necessidades ou até pode superar o limite máximo tolerável, com aquelas de maior concentração (Cardoso et al., 2017; Duarte et al., 2019).

O selênio é um micronutriente essencial para a saúde humana e exerce suas funções biológicas, na forma do aminoácido selenocisteína, por meio da sua incorporação em selenoproteínas. Em seres humanos, 25 selenoproteínas já foram caracterizadas até o momento, entre as quais estão as glutatona peroxidase (GPx), as tioredoxinas redutase (TR), as iodotironinas deiodinase (IDI), a selenofosfato sintetase 2 (SPS2), as selenoproteínas P, S, K, W, entre outras que ainda possuem função desconhecida (Benstoem et al., 2015). As principais funções do selênio incluem sua atuação nas reações antioxidantes, no metabolismo dos hormônios tireoidianos, na proteção contra a ação nociva de metais pesados e xenobióticos, na redução do risco de doenças crônicas não transmissíveis (DCNT), no aumento da resistência do sistema imunológico, na ação neuroprotetora, na atuação na fertilidade e na estabilidade genômica (Ferguson et al., 2012; Roman et al., 2014).

A avaliação do estado nutricional dos indivíduos relativos ao Se tem por objetivo determinar se há uma deficiência nutricional ou, ainda, monitorar os riscos de efeitos adversos resultantes da alta ingestão. Os biomarcadores comumente utilizados para essa avaliação são o sangue (sangue total, soro, plasma ou eritrócito), a urina, as unhas e o cabelo. A avaliação das concentrações plasmáticas de selênio reflete o estado nutricional em curto prazo e pode detectar um quadro de deficiência. A determinação da selenoproteína P (SELENOP) representa resposta ainda mais específica nesse caso, pois essa selenoproteína abrange cerca de 40% a 60% do selênio no plasma. Já a determinação de selênio nos eritrócitos, nos cabelos e nas unhas representa avaliação de longo prazo; os dois últimos, mais especificamente, são utilizados para avaliações de possíveis riscos de toxicidade (Combs Junior, 2015).

A deficiência grave de Se pode ocasionar cardiomiopatias congestivas (doença de Keshan), osteoartrite deformante (doença de Kashin-Beck) e distúrbios da tireoide, além de estar associada a doenças como obesidade, doenças neurológicas e maior mortalidade por câncer e por doenças cardiovasculares (Bleys et al., 2008; Lubos et al., 2010). Baixas concentrações de Se plasmático estão associadas à maior mortalidade em pacientes com doença coronariana, enquanto o aumento de 50% na concentração sérica de Se foi associado à redução de 24% no risco de doença arterial coronariana (Flores-Mateo et al., 2006; Lubos et al., 2010). A suplementação com Se para pacientes com doença coronariana foi capaz de melhorar a capacidade antioxidante avaliada pelo aumento da expressão e da atividade da enzima glutatona peroxidase (GPx) nas células endoteliais da parede arterial, o que pode favorecer a saúde cardiovascular (Schnabel et al., 2008).

A suplementação da dieta com alimentos mais ricos em nutrientes é a melhor forma de manter o estado nutricional dos indivíduos, por apresentar baixo risco de toxicidade (Finley, 2005; Thomson et al., 2008). A castanha-da-amazônia contém Se na forma orgânica e mais biodisponível – a selenometionina – além de alta proporção de ácidos graxos insaturados e compostos fenólicos, sendo, portanto, um alimento com grande potencial nutritivo e funcional (Cardoso et al., 2017; Lima et al., 2019).

Estudos de intervenção com a castanha-da-amazônia

A partir da constatação de que a concentração de Se na castanha-da-amazônia, de fato, é alta e de boa biodisponibilidade, o consumo de tal alimento é recomendado como fonte desse mineral para populações com risco de deficiência, o que visa melhorar o estado nutricional dos indivíduos relativo a esse elemento. Desse modo, diversos estudos de intervenção foram conduzidos no Laboratório de Nutrição e Minerais (FCF – USP), em diferentes contextos de saúde e doença (Tabela 1).

Em indivíduos adultos saudáveis que consumiram diariamente uma noz de castanha-da-amazônia ($\approx 300 \mu\text{g}$ de selênio) durante 8 semanas, observou-se um aumento significativo nos biomarcadores relacionados ao Se, bem como redução da glicemia e do colesterol total. Ao avaliar o período pós-intervenção, esse estudo mostrou que os biomarcadores de Se (plasma, eritrócitos e selenoproteína P) permaneceram elevados mesmo após 8 semanas sem consumir a castanha, o que representa estoque corporal de longo prazo. Além disso, verificou-se ainda que

diferentes variações genéticas podem afetar a resposta da população ao consumo desse alimento (Donadio et al., 2017, 2018, 2019).

Outro estudo, também conduzido com indivíduos saudáveis, comparou os efeitos do consumo da castanha-da-amazônia em substituição a um lanche à base de salgadinhos do tipo pretzels. Os pesquisadores forneceram 20 g de castanha aos voluntários e observaram que o lanche à base de castanha promoveu maior saciedade após a ingestão, além de melhor resposta da glicose e insulina em comparação aos pretzels. Portanto, pode ser considerada alternativa saudável de lanche (Rosenstock et al., 2019).

Um grupo de pesquisadores da Universidade Federal de Santa Maria, RS avaliou o efeito do consumo de diferentes porções da castanha-da-amazônia (0, 5 g, 20 g e 50 g) entre adultos saudáveis e constatou que, após 6 horas, houve aumento significativo do selênio plasmático em todos os grupos que consumiram a castanha. Além disso, o colesterol LDL foi reduzido significativamente, enquanto houve aumento do colesterol HDL após 9 horas da ingestão de 20 g ou 50 g de castanha (Colpo et al., 2013). Foi observado, ainda, que, após 24 horas da ingestão de 20 g ou 50 g de castanha, houve redução significativa nas concentrações séricas de citocinas pró-inflamatórias (IL-1, IL-6, TNF- α e IFN- γ) e aumento significativo da citocina anti-inflamatória IL-10 (Colpo et al., 2014).

Ao comparar o efeito desse alimento ou do suplemento de selênio ($\approx 100 \mu\text{g}$ selenometionina) para melhorar o status desse micronutriente, um grupo de pesquisadores da Nova Zelândia concluiu que o consumo de duas unidades da castanha-da-amazônia, durante 3 meses, é tão eficaz quanto o uso da suplementação. A castanha ainda é mais eficiente em melhorar a atividade da GPx quando comparada ao suplemento de selênio (Thomson et al., 2008).

Tendo em vista os benefícios do consumo da castanha-da-amazônia em indivíduos considerados saudáveis, outros estudos têm buscado avaliar os possíveis efeitos da suplementação de selênio por meio da castanha-da-amazônia em doenças consideradas crônicas, que envolvem aumento de inflamação e estresse oxidativo, com base, principalmente, em suas propriedades antioxidantes. Em relação à saúde cardiovascular, um estudo da Universidade Estadual do Rio de Janeiro avaliou o consumo de 15–25 g-dia de castanha (3 a 5 unidades – $\approx 108,5 \mu\text{g}$ de Se) por adolescentes obesas durante 4 meses, que foi eficaz em melhorar o perfil lipídico e a função microvascular das participantes (Maranhão et al., 2011). Resultados semelhantes foram observados entre adultos hipertensos

e dislipidêmicos. A intervenção com 13 g de castanha-da-amazônia ($\approx 227,5 \mu\text{g}$ de Se) parcialmente desengordurada, durante 5 meses, foi capaz de melhorar o perfil lipídico (Carvalho et al., 2015), aumentar a biodisponibilidade sistêmica do óxido nítrico (Huguenin et al., 2015a) e reduzir a oxidação do LDL. Além disso, contribuiu para a redução da formação e/ou progressão da placa de aterosclerose (Huguenin et al., 2015b).

Entre pacientes dislipidêmicos que utilizam estatinas, o consumo regular de uma castanha-da-amazônia ($\approx 290,5 \mu\text{g}$ de Se), durante 3 meses, melhorou o estresse oxidativo e diminuiu a atividade da enzima creatina quinase, relacionada aos efeitos colaterais do uso crônico de estatinas (Watanabe et al., 2020). Um estudo realizado pelo Instituto do Coração do Hospital das Clínicas da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, SP investigou se o consumo dessa noz poderia afetar os lipídios sanguíneos e algumas propriedades funcionais da HDL. Foram avaliados adultos saudáveis que consumiram 45 g de castanha – cerca de 10 unidades ($\approx 862,6 \mu\text{g}$ de Se) durante 15 dias –, e não foram observadas variações sanguíneas no perfil lipídico. Contudo, os autores relataram alteração positiva na função da HDL (aumento da transferência de ésteres de colesterol), o que foi benéfico para melhorar a via de transporte reverso do colesterol e, conseqüentemente, diminuir o risco de DCV (Strunz et al., 2008).

A inflamação crônica de baixo grau e o estresse oxidativo são processos que ocorrem simultaneamente na obesidade e contribuem para o aumento da síntese de mediadores inflamatórios e de espécies reativas de oxigênio (Bondia-Pons et al., 2012; Rogero; Calder, 2018). Pesquisas brasileiras demonstraram que indivíduos obesos apresentam deficiência de selênio e que uma intervenção por meio da castanha-da-amazônia pode contribuir para a melhora do estado nutricional relativo a esse micronutriente. O estudo de Cominetti et al. (2012), realizado com mulheres obesas mórbidas e deficientes em Se, mostrou que o consumo diário da castanha-da-amazônia ($290 \mu\text{g}$ de Se) por 60 dias aumentou significativamente os biomarcadores de Se, bem como a atividade da GPx. Essa intervenção proporcionou também aumento significativo do colesterol HDL, além de reduzir os índices de risco cardiovascular das participantes (índices de Castelli I e II) (Cominetti et al., 2012).

Entretanto, outro estudo recente, conduzido com mulheres obesas, avaliou os efeitos do consumo regular desse alimento sobre marcadores de inflamação relacionados à obesidade. Nesse caso, foi desenvolvido ensaio clínico com 55 mulheres obesas

e distribuídas aleatoriamente em um grupo controle, que não recebeu nenhuma intervenção, e um grupo de intervenção, que consumiu uma unidade de castanha-da-amazônia (com aproximadamente 1.260 µg de Se) durante 8 semanas. Após esse período, constatou-se aumento significativo dos biomarcadores do status de Se (plasma, eritrócitos e selenoproteína P) e da atividade da GPx. Contudo, esse estudo também mostrou aumento na expressão gênica de marcadores pró-inflamatórios (IL-6, TNF-α, TLR2, TLR4). Isso sugeriu que o consumo de tal alimento, com alta concentração de Se, por períodos prolongados pode não ser benéfico para esses indivíduos (Duarte et al., 2019).

Nesse mesmo ensaio clínico, verificou-se ainda o efeito dessa intervenção sobre a expressão de microRNA circulantes (pequenas sequências de nucleotídeos envolvidas na regulação da expressão de proteínas, que podem ter efeito em diversos tecidos corporais). Dos 25 microRNA plasmáticos avaliados antes e após a intervenção, observou-se que dois microRNA (miR-454-3p e miR-584-5p) apresentaram aumento significativo após a ingestão da castanha-da-amazônia. Esses microRNA possuem relação com o metabolismo da vitamina D, o que indica que o consumo de altas concentrações de Se pode interferir na homeostase do cálcio, regulação do crescimento e função imune (Reis et al., 2019).

No diabetes mellitus, o estresse oxidativo e a inflamação também podem causar o desenvolvimento de complicações de saúde decorrentes da doença, por exemplo, aumento do risco cardiovascular (Giacco; Brownlee, 2010; Yuan et al., 2019). Adolescentes diagnosticados com diabetes mellitus tipo 1 consumiram meia unidade da castanha-da-amazônia (≈ 290 µg de Se) durante 8 semanas. Nesse estudo, foi possível observar que a intervenção proporcionou aumento significativo do Se plasmático e eritrocitário, bem como da atividade da GPx. Outro resultado positivo observado foi a redução de proteínas inflamatórias envolvidas na formação e progressão da placa aterosclerótica – inibidor 1 de ativador de plasminogênio (PAI-1) e molécula de adesão intercelular (ICAM) –, sendo indicativo de potencial efeito protetor da castanha sobre a saúde cardiovascular (Pires, 2012).

No contexto de pacientes com artrite reumatoide, doença autoimune na qual o processo inflamatório crônico e o estresse oxidativo são mais intensos quando comparados às doenças crônicas citadas anteriormente, outro estudo buscou avaliar os possíveis efeitos benéficos do consumo da castanha-da-amazônia. O estudo avaliou mulheres recrutadas no ambulatório de reumatologia da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp). Após 8 semanas de intervenção

com a castanha-da-amazônia ($\approx 350 \mu\text{g}$ de Se), observou-se aumento significativo do Se plasmático e eritrocitário, bem como aumento da atividade das enzimas antioxidantes GPx e do superóxido dismutase (SOD). Esse estudo mostrou, ainda, que o estado nutricional inicial das participantes em relação ao Se não foi afetado pela gravidade da doença. Outro resultado positivo observado foi a redução de um biomarcador urinário relacionado ao estresse oxidativo (8-isoprostano); isso indica que tal alimento pode atuar de forma coadjuvante no tratamento da artrite reumatoide. Em relação aos parâmetros de inflamação, não foi observada nenhuma alteração após suplementação com a castanha-da-amazônia (Callou, 2014).

Na pesquisa de Stockler-Pinto et al. (2010), pacientes com doença renal crônica em hemodiálise também foram suplementados com uma noz de castanha-da-amazônia ($\approx 290 \mu\text{g}$ de Se) por dia, por um período de 90 dias. Os resultados mostraram que a intervenção foi eficaz em melhorar o estado nutricional dos indivíduos em relação ao Se e à capacidade antioxidante. A intervenção com a castanha-da-amazônia nesses pacientes também melhorou a concentração de Se no plasma, os marcadores de estresse oxidativo e de inflamação (TNF- α e IL-6). O aumento das concentrações de Se por meio dessa suplementação foi associado, ainda, à melhora da função tireoidiana (Stockler-Pinto et al., 2015a), além de aumentar a expressão de genes envolvidos com a resposta antioxidante nos pacientes em hemodiálise (Cardozo et al., 2016). Nesse mesmo estudo, em nova avaliação após 12 meses da intervenção, verificou-se redução significativa das concentrações plasmáticas de Se e aumento dos marcadores de estresse oxidativo e de inflamação (Stockler-Pinto et al., 2015b).

Para investigar os efeitos da castanha-da-amazônia no processo de envelhecimento, foi conduzido estudo com idosos não institucionalizados da cidade de São Paulo; ofereceu-se uma noz ao dia associada à dieta habitual dos participantes durante um período de 12 semanas. Foi constatado que, com essa intervenção, houve aumento significativo não apenas da ingestão de Se, como também das concentrações do mineral no plasma e nos eritrócitos, então houve melhora do estado nutricional desses indivíduos quanto a esse elemento (Behr, 2004). Em continuidade, buscou-se avaliar o consumo da castanha-da-amazônia entre idosos com comprometimento cognitivo leve, um estágio que antecede a demência e a doença de Alzheimer, visto que esses pacientes podem apresentar deficiência de Se (Cardoso et al., 2010). Os pacientes consumiram uma noz de castanha-da-amazônia ($\approx 288,75 \mu\text{g}$ de Se) durante 6 meses e, após esse período, observou-se aumento nos biomarcadores de Se e da atividade da GPx. Contudo, o resultado mais

promissor foi associado à melhora significativa dos parâmetros de função cognitiva (praxia construtiva e fluência verbal). Assim, verifica-se que a castanha pode reduzir o risco de demência entre idosos (Cardoso, 2014).

Visando aprofundar os estudos moleculares envolvidos na resposta à suplementação com a castanha-da-amazônia, investigou-se o possível efeito de seu consumo regular na modulação da microbiota intestinal em duas diferentes populações. Essa intervenção conduzida em pacientes diagnosticados com diabetes mellitus tipo 2 promoveu melhora no estado nutricional relativo ao Se e no perfil glicêmico dos pacientes (redução da hemoglobina glicada), bem como aumento da atividade da GPx. Em relação à microbiota intestinal, esse alimento não foi capaz de promover alterações significativas na composição global de bactérias intestinais (Alencar, 2019). Por outro lado, esse mesmo protocolo de intervenção conduzido com adultos saudáveis mostrou que a castanha-da-amazônia foi capaz de modular positivamente a microbiota intestinal e aumentou a abundância de gêneros importantes à saúde humana, como *Faecalibacterium*, *Bilophila* e *Bulleidia* (Hashimoto, 2019).

Tabela 1. Resumo, em ordem cronológica decrescente, dos estudos conduzidos pelo Laboratório de Nutrição-Minerais que utilizaram a castanha-da-amazônia (GPx = glutatona peroxidase; ICAM = molécula de adesão intercelular; IL-6 = interleucina-6; PAI-1= inibidor 1 de ativador de plasminogênio; Se = selênio; SELENOP = selenoproteína P; SOD = superóxido dismutase; TLR = receptor do tipo Toll; TNF- α = fator de necrose tumoral alfa; VCAM = molécula de adesão de célula vascular).

Fonte	População avaliada (número)	Intervenção (quantidade de selênio)	Duração	Principais achados
Hashimoto (2019)	Indivíduos saudáveis (n=97)	1 castanha-da-amazônia (\approx 1260 μ g)	8 semanas	<ul style="list-style-type: none"> ↑ Se plasmático, eritrocitário e fecal ↑ atividade da GPx1 ↑ concentração SELENOP ↑ concentração bactérias benéficas da microbiota intestinal (<i>Faecalibacterium</i>, <i>Bilophila</i> e <i>Bulleidia</i>)

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Fonte	População avaliada (número)	Intervenção (quantidade de selênio)	Duração	Principais achados
Alencar (2019)	Pacientes diabéticos tipo 2 (n=29)	1 castanha-da-amazônia (≈ 1260 µg)	8 semanas	<p>↓ hemoglobina glicada</p> <p>↑ Se plasmático, eritrocitário e fecal</p> <p>↑ atividade da GPx1</p> <p>↑ concentração SELENOP</p>
Reis (2018)	Mulheres obesas (n=55)	1 castanha-da-amazônia (≈ 1260 µg)	8 semanas	<p>↑ Se plasmático e eritrocitário</p> <p>↑ Expressão microRNAs envolvidos com metabolismo da vitamina D</p>
Duarte (2018)	Mulheres obesas (n=55)	1 castanha-da-amazônia (≈ 1260 µg)	8 semanas	<p>↑ Se plasmático e eritrocitário</p> <p>↑ atividade da GPx1</p> <p>↑ concentração SELENOP</p> <p>↑ Expressão gênica de marcadores pró-inflamatórios (IL-6, TNF-α, TLR2, TLR4)</p>
Donadio (2016)	Indivíduos saudáveis (n=130)	1 castanha-da-amazônia (≈ 350 µg)	8 semanas	<p>↑ Se plasmático e eritrocitário</p> <p>↑ atividade da GPx1 e GPx3</p> <p>↑ concentração SELENOP</p> <p>↓ glicemia</p> <p>↓ colesterol total</p>
Cardoso (2014)	Pacientes com declínio cognitivo leve (n=31)	1 castanha-da-amazônia (≈ 288 µg)	24 semanas	<p>↑ Se plasmático e eritrocitário</p> <p>↑ atividade da GPx</p> <p>↑ parâmetros de cognição: praxia construtiva e fluência verbal</p>

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Fonte	População avaliada (número)	Intervenção (quantidade de selênio)	Duração	Principais achados
Callou (2014)	Pacientes com artrite reumatoide (n=46)	1 castanha-da-amazônia (≈ 350 µg)	8 semanas	<ul style="list-style-type: none"> ↑ Se plasmático e eritrocitário ↑ atividade de GPx e SOD ↑ expressão da GPx1 ↑ fibrinogênio, VCAM, ICAM, PAI-1 e E-selectina ↓ 8-isoprostanos urinários
Pires (2012)	Pacientes diabéticos tipo 1 (n=70)	½ castanha-da-amazônia (≈ 290 µg)	8 semanas	<ul style="list-style-type: none"> ↑ Se plasmático e eritrocitário ↑ atividade da GPx ↓ concentração ICAM e PAI-1
Cominetti (2010)	Mulheres obesas (n=37)	1 castanha-da-amazônia (≈ 290 µg)	8 semanas	<ul style="list-style-type: none"> ↑ Se plasmático e eritrocitário ↑ atividade da GPx ↑ HDL-c ↓ índices de Castelli I e II
Stockler-Pinto (2009)	Pacientes com doença renal crônica em hemodiálise (n=81)	1 castanha-da-amazônia (≈ 290,5 µg)	12 semanas	<ul style="list-style-type: none"> ↑ Se plasmático e eritrocitário ↑ atividade da GPx
Behr (2004)	Idosos (n=40)	1 castanha-da-amazônia (≈ 52 µg)	12 semanas	<ul style="list-style-type: none"> ↑ Se plasmático e eritrocitário
Coutinho (2003)	Capoeiristas (n=29)	1 castanha-da-amazônia (≈ 60 µg)	170 dias	<ul style="list-style-type: none"> ↑ Se plasmático e eritrocitário ↑ atividade da GPx plasmática e eritrocitária

Recentemente, uma metanálise reuniu sete ensaios clínicos brasileiros e estrangeiros que utilizaram a castanha-da-amazônia em estudos de intervenção e concluiu que esse alimento promove aumento significativo na concentração de selênio plasmático e na atividade da enzima GPx, o que pode ser utilizado como estratégia prática de suplementação do mineral (Li et al., 2020).

A Figura 1 apresenta resumo dos principais efeitos observados devido ao consumo regular da castanha-da-amazônia em diferentes grupos populacionais:

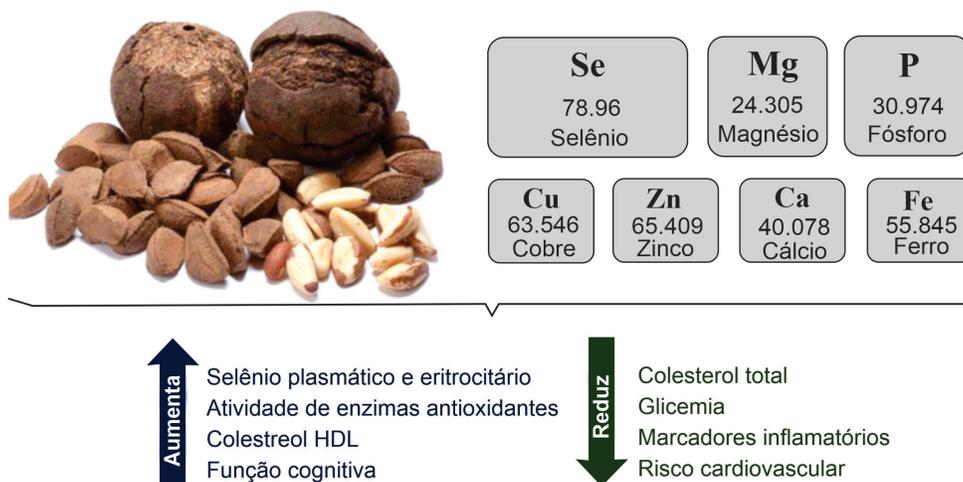


Figura 1. Resumo dos principais efeitos observados devido ao consumo regular da castanha-da-amazônia em diferentes grupos populacionais. Se = selênio; Mg = magnésio; P = fósforo; Cu = cobre; Zn = zinco; Ca = cálcio; e Fe = ferro.

É importante ressaltar que a ingestão de altas concentrações de selênio, tanto na forma orgânica como inorgânica, pode ser tóxica para o organismo humano. Os sinais clínicos observados nessa condição incluem desde queda de cabelo e unhas frágeis até alterações gastrointestinais, erupções cutâneas, fadiga, odor de alho na respiração, irritabilidade e anormalidades no sistema nervoso. O valor estabelecido como limite máximo tolerável de ingestão (*tolerable upper intake level* – UL) para adultos é de 400 $\mu\text{g}\cdot\text{dia}^{-1}$ e foi baseado nos sinais comumente observados no quadro de selenose (redução de brilho e perda de unhas e cabelos). O valor da dose estabelecida na qual o menor efeito adverso foi observado (*lowest observable adverse effect level* – LOAEL) é de 900 $\mu\text{g}\cdot\text{dia}^{-1}$ (Otten et al., 2006).

Alguns estudos têm observado que o excesso de selênio plasmático ($> 135 \mu\text{g/L}$) está relacionado com o aumento da mortalidade, maior risco de diabetes tipo 2 e aumento do risco de câncer de pele não melanoma e de câncer de próstata (Rayman, 2019). Essas associações foram observadas com o uso de suplementação de selênio, portanto ainda não podemos afirmar que o consumo da castanha-da-amazônia apresente esses mesmos efeitos. Entretanto, segundo o estudo de Duarte et al. (2019), o consumo de castanha com alta concentração de selênio aumentou a expressão de genes relacionados com a resposta inflamatória em mulheres obesas. Apesar de esse estudo não ter identificado aumento sistêmico da inflamação, os autores sugerem cautela com a ingestão desse alimento, tendo em vista que o excesso de selênio é comprovadamente prejudicial.

Considerações finais

A castanha-da-amazônia é um alimento com grande valor nutricional, que pode contribuir para a redução do risco e/ou auxiliar no tratamento de doenças que envolvam maior inflamação e estresse oxidativo, como doenças cardiovasculares, doença renal, obesidade, diabetes e doenças neurodegenerativas. Contudo, é importante ressaltar que o consumo dessa castanha deve ser feito com moderação e não ultrapassar a ingestão diária de uma única unidade, o que evita possíveis efeitos adversos provenientes do excesso de selênio. Sugere-se, ainda, a importância de monitorar e, quando possível, informar ao consumidor, por meio de especificação no rótulo dos produtos, a quantidade de selênio nas castanhas, que pode variar de acordo com a região onde a castanheira ocorre.

É importante salientar, também, que nenhum alimento sozinho é capaz de prevenir ou tratar doenças. Portanto, a castanha-da-amazônia, assim como outras oleaginosas, deve ser incluída diariamente na dieta como parte de uma alimentação saudável, para que seus benefícios sejam somados ao consumo de outros alimentos que irão contribuir para a promoção da saúde.

Referências

- ALENCAR, L. L. **A suplementação de pacientes com diabetes mellitus tipo 2 com castanha-do-brasil, pode alterar o estado nutricional relativo ao selênio, o grau de inflamação e a microbiota intestinal?** 2019. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- ASGHARI, G.; GHORBANI, Z.; MIRMIRAN, P.; AZIZI, F. Nut consumption is associated with lower incidence of type 2 diabetes: The tehran lipid and glucose study. **Diabetes & Metabolism**, v. 43, n. 1, p. 18-24, Feb. 2017.
- BEHR, C. S. **Efeito de uma dieta enriquecida com castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*, L.) no estado nutricional relativo ao selênio de idosos não institucionalizados**. 2004. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- BENSTOEM, C.; GOETZENICH, A.; KRAEMER, S.; BOROSCH, S.; MANZANARES, W.; HARDY, G.; STOPPE, C. Selenium and its supplementation in cardiovascular disease – what do we know? **Nutrients**, v. 7, n. 5, p. 3094-3118, Apr. 2015. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu7053094>.
- BLEYS, J.; NAVAS-ACIEN, A.; GUALLAR, E. Serum selenium levels and all-cause, cancer, and cardiovascular mortality among US adults. **Archives of Internal Medicine**, v. 168, n. 4, p. 404-410, Feb. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1001/archinternmed.2007.74>.
- BONDIA-PONS, I.; RYAN, L.; MARTINEZ, J. A. Oxidative stress and inflammation interactions in human obesity. **Journal of Physiology and Biochemistry**, v. 68, n. 4, p. 701-711, Dec. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13105-012-0154-2>.
- CALLOU, K. R. A. **Efeito da suplementação com castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H.B. K) como fonte de selênio sobre os marcadores de estresse oxidativo, citocinas inflamatórias e sua relação com o polimorfismo Pro198Leu no gene da glutathione peroxidase 1 em pacientes com artrite reumatoide**. 2014. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- CARDOSO, B. R. **Efeitos do consumo de castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* HBK) sobre o estresse oxidativo em pacientes com comprometimento cognitivo leve e a relação com variações em genes de selenoproteínas**. 2014. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- CARDOSO, B. R.; DUARTE, G. B. S.; REIS, B. Z.; COZZOLINO, S. M. F. Brazil nuts: nutritional composition, health benefits and safety aspects. **Food Research International**, v. 100, part 2, p. 9-18, Oct. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.08.036>.
- CARDOSO, B. R.; ONG, T. P.; JACOB-FILHO, W.; JALUUL, O.; FREITAS, M. I.; COZZOLINO, S. M. F. Nutritional status of selenium in Alzheimer's disease patients. **British Journal of Nutrition**, v. 103, n. 6, p. 803-806, Mar. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007114509992832>.
- CARDOZO, L. F.; STOCKLER-PINTO, M. B.; MAFRA, D. Brazil nut consumption modulates Nrf2 expression in hemodialysis patients: a pilot study. **Molecular Nutrition & Food Research**, v. 60, n. 7, p. 1719-1724, July 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/mnfr.201500658>.

CARVALHO, R. F.; HUGUENIN, G. V.; LUIZ, R. R.; MOREIRA, A. S.; OLIVEIRA, G. M.; ROSA, G. Intake of partially defatted Brazil nut flour reduces serum cholesterol in hypercholesterolemic patients - a randomized controlled trial. **Nutrition Journal**, v. 14, article number 59, p. 1-9, June 2015. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12937-015-0036-x>.

COLPO, E.; DALTON, D. A. V.; REETZ, L. G.; DUARTE, M. M.; FARIAS, I. L.; MEINERZ, D. F.; MARIANO, D. O. C.; VENDRUSCULO, R. G.; BOLIGON, A. A.; DALLA CORTE, C. L.; WAGNER, R.; ATHAYDE, M. L.; ROCHA, J. B. T. Brazilian nut consumption by healthy volunteers improves inflammatory parameters. **Nutrition**, v. 30, n. 4, p. 459-465, Apr. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nut.2013.10.005>.

COLPO, E.; VILANOVA, C. D.; REETZ, L. G.; DUARTE, M. M.; FARIAS, I. L.; MULLER, E.; MULLER, A. L. H.; FLORES, E. M. M.; WAGNER, R.; ROCHA, J. B. T. A single consumption of high amounts of the Brazil nuts improves lipid profile of healthy volunteers. **Journal of Nutrition and Metabolism**, v. 2013, article number 653185, p. 1-7, June 2013. DOI: <https://doi.org/10.1155%2F2013%2F653185>.

COMBS JUNIOR, F. Biomarkers of selenium status. **Nutrients**, v. 7, n. 4, p. 2209-2236, Apr. 2015. DOI: <https://doi.org/10.3390%2Fnu7042209>.

COMINETTI, C. **Efeitos da suplementação com castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* HBK) sobre o estresse oxidativo em mulheres obesas e sua relação com o polimorfismo Pro198Leu no gene da glutatona peroxidase 1**. 2010. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

COMINETTI, C.; BORTOLI, M. C.; GARRIDO, A. B.; COZZOLINO, S. M. F. Brazilian nut consumption improves selenium status and glutathione peroxidase activity and reduces atherogenic risk in obese women. **Nutrition Research**, v. 32, n. 6, p. 403-407, June 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2012.05.005>.

COUTINHO, V. F. **Efeito da suplementação com castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*, H.B.K.) no estado nutricional de praticantes de capoeira em relação ao selênio**. 2003. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

DEL GOBBO, L. C.; FALK, M. C.; FELDMAN, R.; LEWIS, K.; MOZAFFARIAN, D. Effects of tree nuts on blood lipids, apolipoproteins, and blood pressure: systematic review, meta-analysis, and dose-response of 61 controlled intervention trials. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 102, n. 6, p. 1347-56, Dec. 2015. DOI: <https://doi.org/10.3945/ajcn.115.110965>.

DONADIO, J. L. S. **Influence of different genotypes in the pattern of selenoprotein expression in response to Brazil nut supplementation**. 2016. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

DONADIO, J. L. S.; ROGERO, M. M.; COCKELL, S.; HESKETH, J.; COZZOLINO, S. M. F. Influence of genetic variations in selenoprotein genes on the pattern of gene expression after supplementation with Brazil nuts. **Nutrients**, v. 9, n. 7, p. 739, July 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu9070739>.

DONADIO, J. L. S.; ROGERO, M. M.; GUERRA-SHINOHARA, E. M.; DESMARCHELIER, C.; BOREL, P.; COZZOLINO, S. M. F. SEPP1 polymorphisms modulate serum glucose and lipid response to Brazil nut supplementation. **European Journal of Nutrition**, v. 57, n. 5, p. 1873-1882, Aug. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00394-017-1470-7>.

DONADIO, J. L. S.; ROGERO, M. M.; GUERRA-SHINOHARA, E. M.; BARBOSA JR, F.; DESMARCHELIER, C.; BOREL, P.; SNEDDON, A. A.; HESKETH, J. E.; COZZOLINO, S. M. F. Genetic variants in selenoprotein genes modulate biomarkers of selenium status in response to Brazil nut supplementation (the SU.BRA.NUT study). **Clinical Nutrition**, v. 38, n. 2, p. 539-548, Apr. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2018.03.011>.

DUARTE, G. B. S. **Efeito do consumo de castanhas-do-brasil (*Bertholettia excelsa* HBK) sobre os biomarcadores inflamatórios e o estado nutricional relativo ao selênio de mulheres obesas**. 2018. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

DUARTE, G. B. S.; REIS, B. Z.; ROGERO, M. M.; VARGAS-MENDEZ, E.; BARBOSA JR, F.; CERCATO, C.; COZZOLINO, S. M. F. Consumption of Brazil nuts with high selenium levels increased inflammation biomarkers in obese women: A randomized controlled trial. **Nutrition**, v. 63, p. 162-168, Apr. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2018.03.011>.

FERGUSON, L. R.; KARUNASINGHE, N.; ZHU, S.; WANG, A. H. Selenium and its' role in the maintenance of genomic stability. **Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis**, v. 733, n. 1-2, p. 100-110, May 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mrfmmm.2011.12.011>.

FINLEY, J. Selenium accumulation in plant foods. **Nutrition Reviews**, v. 63, n. 6, p. 196-202, June 2005. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2005.tb00137.x>.

FLORES-MATEO, G.; NAVAS-ACIEN, A.; PASTOR-BARRIUSO, R.; GUALLAR, E. Selenium and coronary heart disease: a meta-analysis. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 84, n. 4, p. 762-773, Oct. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajcn/84.4.762>.

GIACCO, F.; BROWNLEE, M. Oxidative stress and diabetic complications. **Circulation Research**, v. 107, n. 9, p. 1058-1070, Oct. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.110.223545>.

HASHIMOTO, L. L. **Suplementação de minerais por meio da castanha-do-brasil pode modular a microbiota intestinal de indivíduos saudáveis**. 2019. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

HUGUENIN, G. V.; MOREIRA, A. S.; SIANT'PIERRE, T. D.; GONCALVES, R. A.; ROSA, G.; OLIVEIRA, G. M.; LUIZ, R. R.; TIBIRICA, E. Effects of dietary supplementation with Brazil nuts on microvascular endothelial function in hypertensive and dyslipidemic patients: a randomized crossover placebo-controlled trial. **Microcirculation**, v. 22, n. 8, p. 687-699, Nov. 2015a. DOI: <https://doi.org/10.1111/micc.12225>.

HUGUENIN, G. V.; OLIVEIRA, G. M.; MOREIRA, A. S.; SAINT'PIERRE, T. D.; GONCALVES, R. A.; PINHEIRO-MULDER, A. R.; TEODORO, A. J.; LUIZ, R. R.; ROSA, G. Improvement of antioxidant status after Brazil nut intake in hypertensive and dyslipidemic subjects. **Nutrition Journal**, v. 14, n. 1, article number 54, p. 1-10, May 2015b. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12937-015-0043-y>.

KROMHOUT, D.; SPAAIJ, C. J.; GOEDE, J.; WEGGEMANS, R. M. The 2015 Dutch food-based dietary guidelines. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 70, n. 8, p. 869-78, Aug. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/ejcn.2016.52>.

LI, Y.; CLARK, C.; ABDULAZEEME, H. M.; SALEHISAHLABADI, A.; RAHMANI, J.; ZHANG, Y. The effect of Brazil nuts on selenium levels, Glutathione peroxidase, and thyroid hormones: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. **Journal of King Saud University – Science**, v. 32, n. 3, p. 1845-1852, Apr. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2020.01.019>.

LIMA, L. W.; STONEHOUSE, G. C.; WALTERS, C.; MEHDAMI, A. F. E.; FAKRA, S. C.; PILON-SMITS, E. A. H. Selenium accumulation, speciation and localization in Brazil nuts (*Bertholletia excelsa* HBK). **Plants**, v. 8, n. 8, article number 289, Aug. 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390%2Fplants8080289>.

LUBOS, E.; SINNING, C. R.; SCHNABEL, R. B.; WILD, P. S.; ZELLER, T.; RUPPRECHT, H. J.; BICKEL, C.; LACKNER, K. J.; PEETZ, D.; LOSCALZO, J.; MÜNDEL, T.; BLANKENBERG, S. Serum selenium and prognosis in cardiovascular disease: results from the AtheroGene study. **Atherosclerosis**, v. 209, n. 1, p. 271-277, Mar. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2009.09.008>.

MARANHÃO, P. A.; KRAEMER-AGUIAR, L. G.; OLIVEIRA, C. L.; KUSCHNIR, M. C.; VIEIRA, Y. R.; SOUZA, M. G.; KOURY, J. C.; BOUSKELA, E. Brazil nuts intake improves lipid profile, oxidative stress and microvascular function in obese adolescents: a randomized controlled trial. **Nutrition & Metabolism**, v. 8, n. 1, article number 32, May 2011. DOI: <https://doi.org/10.1186/1743-7075-8-32>.

NATIONAL HEALTH AND MEDICAL RESEARCH COUNCIL. **Eat For Health**: Australian dietary guidelines summary. Canberra: Commonwealth of Australia, 2013.

OTTEN, J. J.; HELLWIG, J. P.; MEYERS, L. D. (ed.). **Dietary reference intakes**: the essential guide to nutrient requirements. Washington, DC: National Academies Press, 2006.

PIRES, L. V. **Efeito da suplementação com castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.) na expressão gênica de citocinas inflamatórias e sua relação com o estresse oxidativo em pacientes com diabetes mellitus tipo 1**. 2012. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

RAYMAN, M. P. Selenium intake, status, and health: a complex relationship. **Hormones**, v. 19, n.1, p. 9-14, Mar. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42000-019-00125-5>.

REIS, B. Z. **Expressão de microRNA circulantes em mulheres com excesso de peso suplementadas com castanha-do-brasil**. 2018. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

REIS, B. Z.; DUARTE, G. B. S.; VARGAS-MENDEZ, E.; FERREIRA, L. R. P.; BARBOSA JR, F.; CERCATO, C.; ROGERO, M. M.; COZZOLINO, S. M. F. Brazil nut intake increases circulating miR-454-3p and miR-584-5p in obese women. **Nutrition Research**, v. 67, p. 40-52, 2019.

ROGERO, M. M.; CALDER, P. C. Obesity, inflammation, toll-like receptor 4 and fatty acids. **Nutrients**, v. 10, n. 4, article number 432, p. 2019, Mar. 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu10040432>.

ROMAN, M.; JITARU, P.; BARBANTE, C. Selenium biochemistry and its role for human health. **Metallomics**, v. 6, n. 1, p. 25-54, Jan. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1039/c3mt00185g>.

ROSENSTOCK, A.; CONNOLLY, M.; WELLER, R.; HONG, M. Y. Brazil nut consumption promotes satiety without increasing blood glucose and insulin responses in healthy adults. **Nutrire**, v. 45, n. 1, article number 3, Dec. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41110-019-0108-3>.

SCHNABEL, R.; LUBOS, E.; MESSOW, C. M.; SINNING, C. R.; ZELLER, T.; WILD, P. S.; PEETZ, D.; HANDY, D. E.; MUNDEL, T.; LOSCALZO, J.; LACKNER, K. J.; BLANKENBERG, S. Selenium supplementation improves antioxidant capacity in vitro and in vivo in patients with coronary artery disease: The SElenium Therapy in Coronary Artery disease Patients (SETCAP) Study. **American Heart Journal**, v. 156, n. 6, p. 1201.e1-1201.e11, Dec. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2008.09.004>.

SILVA JUNIOR, E. C.; WADT, L. H. O.; SILVA, K. E.; LIMA, R. M. B.; BATISTA, K. D.; GUEDES, M. C.; CARVALHO, G. S.; CARVALHO, T. S.; REIS, A. R.; LOPES, G.; GUILHERME, L. R. G. Natural variation of selenium in Brazil nuts and soils from the Amazon region. **Chemosphere**, v. 188, p. 650-658, Dec. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.08.158>.

STOCKLER-PINTO, M. B. **Efeitos da suplementação com castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* HBK) como fonte de selênio para pacientes em hemodiálise**. 2009. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

STOCKLER-PINTO, M. B.; MAFRA, D.; FARAGE, N. E.; BOAVENTURA, G. T.; COZZOLINO, S. M. F. Effect of Brazil nut supplementation on the blood levels of selenium and glutathione peroxidase in hemodialysis patients. **Nutrition**, v. 26, n. 11-12, p. 1065-1069, Nov./Dec. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nut.2009.08.006>.

STOCKLER-PINTO, M. B.; CARRERO, J. J.; WEIDE, L. C. C.; COZZOLINO, S. M. F.; MAFRA, D. Effect of selenium supplementation via Brazil nut (*Bertholletia excelsa*, HBK) on thyroid hormones levels in hemodialysis patients: a pilot study. **Nutrição Hospitalaria**, v. 32, n. 4, p. 1808-1812, Oct. 2015a. DOI: <https://doi.org/10.3305/nh.2015.32.4.9384>.

STOCKLER-PINTO, M. B.; MALM, O.; MORAES, C.; FARAGE, N. E.; SILVA, W. S.; COZZOLINO, S. M. F.; MAFRA, D. A follow-up study of the chronic kidney disease patients treated with Brazil nut: focus on inflammation and oxidative stress. **Biological Trace Element Research**, v. 163, n. 1-2, p. 67-72, Feb. 2015b. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12011-014-0167-5>.

STRUNZ, C. C.; OLIVEIRA, T. V.; VINAGRE, J. C.; LIMA, A.; COZZOLINO, S. M. F.; MARANHÃO, R. C. Brazil nut ingestion increased plasma selenium but had minimal effects on lipids, apolipoproteins, and high-density lipoprotein function in human subjects. **Nutrition Research**, v. 28, n. 3, p. 151-5, Mar. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2008.01.004>.

THOMSON, C. D.; CHISHOLM, A.; MCLACHLAN, S. K.; CAMPBELL, J. M. Brazil nuts: an effective way to improve selenium status. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 87, n. 2, p. 379-84, Feb. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajcn/87.2.379>.

US DIETARY GUIDELINES ADVISORY COMMITTEE. **Scientific report of the 2015 Dietary Guidelines Advisory Committee**, Washington, D.C., 2015.

US FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. **Qualified health claims**: letter of enforcement discretion—nuts and coronary heart disease, Washington, D.C., 2003.

WATANABE, L. M.; LIMA, L. F.; FERRAZ-BANNITZ, R.; TAKAARA, D.; ROMANO, B. C.; COSTA, T. M. B.; FREITAS, M. C. F.; BUENO, A. C.; BARBOSA JUNIOR, F.; NAVARRO, A. M. Association between creatine kinase activity, oxidative stress and selenoproteins mRNA expression changes after Brazil nut consumption of patients using statins. **Clinical Nutrition**, v. 39, n. 10, p. 3175-3181, Oct. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2020.02.012>.

YUAN, T.; YANG, T.; CHEN, H.; FU, D.; HU, Y.; WANG, J.; YUAN, Q.; YU, H.; XU, W.; XIE, X. New insights into oxidative stress and inflammation during diabetes mellitus-accelerated atherosclerosis. **Redox Biology**, v. 20, p. 247-260, Jan. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.redox.2018.09.025>.

Capítulo 5

Selênio: caracterização, variação dos teores e efeitos benéficos

Edu Carlos da Silva Junior; André Rodrigues dos Reis; Guilherme Lopes; Luiz Roberto Guimarães Guilherme

Introdução

Em termos históricos, na Amazônia, as pesquisas com selênio (Se) na castanha-da-amazônia (*Bertholletia excelsa*, Lecythidaceae) começaram muito recentemente. Investigações pioneiras importantes, como as realizadas por Secor e Lisk (1989) e Chang et al. (1995), forneceram um caminho necessário para os estudos sobre a variação dos teores de selênio nas amêndoas tanto dentro como entre castanhais locais. Deram, ainda, suporte à pesquisa com a relação solo-planta, buscando entender os fatores do solo que afetam a acumulação de selênio nas amêndoas. Desde então, o maior salto nas pesquisas ocorreu nas últimas 2 décadas (desde 2000), quando as investigações sobre a especiação química de selênio e a bioacessibilidade de suas diferentes formas e fases tornaram-se essenciais para melhor compreensão dos efeitos desse elemento na saúde e nutrição humana.

O selênio é um elemento traço encontrado em pequenas quantidades em nosso organismo. Foi isolado pela primeira vez em 1817 pelo químico Sueco Jöns Jacob Berzelius e há muito tempo é reconhecido por sua toxicidade. A sua importância metabólica foi destacada somente em 1957, sendo posteriormente reconhecido como um componente estrutural importante de muitas enzimas, como a glutatona peroxidase, a tioredoxina redutase e a deiodinases. Essas enzimas desempenham papéis importantes, como antioxidantes, na reprodução, função muscular e prevenção de tumores, sendo importante a ingestão diária de selênio para garantir o funcionamento adequado desses processos no corpo humano (Mehdi et al., 2013). No entanto, há um limite estreito entre os níveis deficientes e tóxicos de selênio para organismos vivos, sendo que ele pode ser benéfico ou tóxico a depender de sua concentração, especiação química e do tipo de organismo. Assim, esse elemento é caracterizado como uma “espada de duas lâminas”, por causa do seu comportamento biológico de dupla face (Natasha et al., 2017).

A observação perspicaz feita por Paracelsus (1493-1541) de que “Todas as substâncias são veneno; não há nenhum que não seja um veneno. A dose certa diferencia um veneno de um remédio” é muito relevante atualmente no século XXI e se aplica muito bem ao estudo com selênio na castanha-da-amazônia. Com essa afirmação, Paracelsus definiu uma lei básica da toxicologia: o aumento indefinido na quantidade ou concentração de um elemento causa efeitos biológicos negativos crescentes, que podem levar à inibição das funções biológicas e, eventualmente, à morte. Apesar dos efeitos nocivos de vários elementos, mesmo em concentrações baixas, outros são essenciais para a vida, como é o caso do selênio, mas dentro de um certo limite de concentração (Selinus et al., 2013).

A ingestão diária recomendada de selênio foi estabelecida em $70 \mu\text{g}\cdot\text{dia}^{-1}$ para homens adultos e $60 \mu\text{g}\cdot\text{dia}^{-1}$ para mulheres adultas, enquanto o limite aceitável para toxicidade de selênio é de $850 \mu\text{g}\cdot\text{dia}^{-1}$ a $900 \mu\text{g}\cdot\text{dia}^{-1}$ (Kipp et al., 2015). Para o selênio, particularmente, efeitos biológicos deletérios podem resultar do aumento ou da diminuição de suas concentrações. Portanto, por causa do efeito potencialmente nocivo desse elemento em seres humanos, é importante definir uma quantidade segura de castanha-da-amazônia a ser ingerida para que se obtenha uma suplementação ótima desse mineral.

No entanto, a deficiência de selênio é bem mais comum no mundo inteiro do que o excesso e afeta cerca de 15% da população mundial, com crianças em maior risco. Isso representa, globalmente, entre 1 e 1,5 bilhão de pessoas e pode ser associada a várias doenças, como algumas formas de câncer, hipotireoidismo, funções imunológicas prejudicadas, declínio cognitivo, infertilidade masculina e distúrbios cardiovasculares (Combs Junior, 2001). A Figura 1 mostra um mapa da distribuição global de selênio em solos, em que é possível notar que no Brasil, com os resultados das pesquisas disponíveis até o momento, há uma faixa de teores inferior a $0,4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ na maior parte do território.

A população brasileira pouco está ciente dos níveis de selênio presentes nas castanhas-da-amazônia, embora sejam consumidas com elevada frequência, principalmente na região Norte. Estudos apontam que a ingestão de selênio por populações específicas estudadas na região Norte é maior do que pela população da região Sudeste (Maihara et al., 2004).

Os elevados níveis de selênio na dieta típica das populações ribeirinhas da Amazônia – que podem resultar em níveis de selênio no sangue de até $1.500 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, quando o

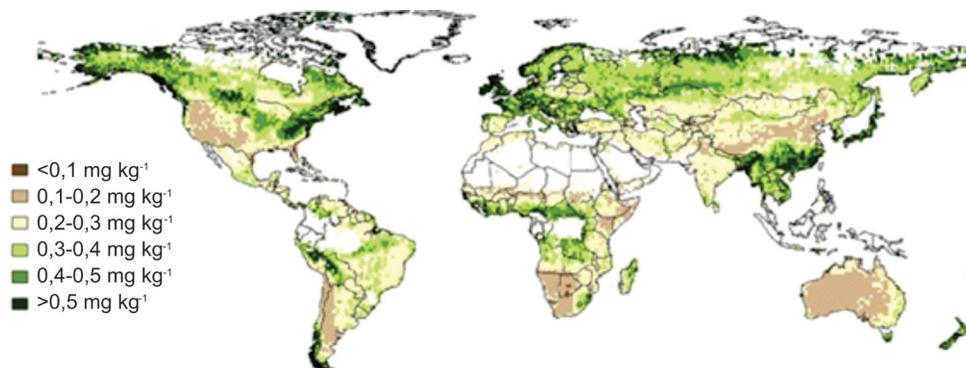


Figura 1. Representação geográfica global de concentrações modeladas de selênio em solos

Fonte: Adaptado de Jones et al. (2017).

nível ótimo desse elemento no sangue fica em torno de 60 $\mu\text{g.L}^{-1}$ a 120 $\mu\text{g.L}^{-1}$ – têm sido atribuídos ao consumo regular de castanha-da-amazônia, entre outros produtos que contêm altas concentrações de selênio (Lemire et al., 2010). No entanto, não há até o momento evidências de intoxicação pela ingestão de elevados teores de selênio (selenose) proveniente de uma dieta rica em castanha-da-amazônia nessa região (Lemire et al., 2012).

Como o Se tem sido relatado como um micronutriente importante e a castanha-da-amazônia é uma fonte viável, tem havido um interesse crescente dos consumidores por essa commodity. Por ser considerado um excelente antioxidante, é recomendado como antienvhecimento e é consumido por atletas, idosos e aqueles que desejam uma vida saudável (Pacheco; Scussel, 2007). Dessa forma, é importante fornecer informações sobre os níveis de selênio contidos nos alimentos ingeridos e as limitações de ingestão relacionadas a essas dietas para as comunidades que têm a castanha-da-amazônia como meio de subsistência na região, além dos benefícios para a saúde já conhecidos.

Além disso, o valor econômico da castanha-da-amazônia pode ser aumentado se os setores de exploração e produção estiverem cientes de que certas populações de castanheiras-da-amazônia e locais de coleta ou fazendas apresentam altos níveis de selênio. Por isso, é importante destacar a variabilidade nos teores de selênio, a depender da região, levando em conta os possíveis fatores ambientais que controlam essas variações.

Análises e determinações de selênio

Para determinação do teor de selênio, as amostras de castanha-da-amazônia são preferencialmente coletadas na projeção da copa das castanheiras – uma média de cinco frutos maduros são suficientes para análises laboratoriais. Para obtenção das sementes, os frutos são abertos e as castanhas, misturadas em um saco plástico; desse material, 50 unidades são amostradas aleatoriamente e enviadas ao laboratório para análise. Para qualquer tipo de amostragem nesse aspecto, seja em floresta nativa, seja em fazenda com plantas cultivadas, é fundamental registrar a localização com as coordenadas geográficas da planta, com auxílio de GPS (Silva Junior et al., 2017). Tal informação pode ajudar na localização de plantas com elevado potencial de acumulação de selênio e na implementação de futuras pesquisas, com o solo sobrejacente ou de caracterização genética de plantas.

O estudo da especiação química de selênio em castanha-da-amazônia se faz necessário para identificar as principais formas desse mineral presentes nas amêndoas, sua associação com aminoácidos importantes para a nutrição humana e possível biodisponibilidade para o organismo humano. Uma caracterização realizada por Lima et al. (2019) demonstrou que as formas acumuladas de selênio eram compostos orgânicos de cadeia C-Se-C. Estudos de especiação desse mineral desenvolvidos por Silva et al. (2013) e Dumont et al. (2006) observaram que, das espécies orgânicas selenometionina (SeMet) e selenocistina [Se-(Cys)₂], presentes na matriz da castanha-da-amazônia, a selenometionina foi o composto mais abundante encontrado após a digestão gastrointestinal simulada, configurando-se como bioacessível na castanha-da-amazônia, o que corresponde a 74% do selênio total (54,8 ± 4,6 µg.g). Semelhantemente, Dumont et al. (2006) observaram que os principais compostos presentes na matriz da castanha-da-amazônia após a digestão proteolítica e após simulação da digestão gastrointestinal são Se-(Cys)₂ e Se-Met, este como o composto mais abundante. Os resultados existentes, apesar de um tanto gerais, fornecem suporte para estudos anteriores realizados e elucidam as teorias que estão sendo formuladas sobre a fisiologia e o metabolismo do selênio nessa extraordinária espécie acumuladora.

Uma revisão realizada por Fairweather-Tait et al. (2010) confirma um consenso na literatura de que a selenometionina é a principal forma de selênio em castanha-da-amazônia. Nesse contexto, é importante salientar que a SeMet é uma forma orgânica de selênio com elevada biodisponibilidade, ou seja, com grande potencial de aproveitamento pelo organismo humano após sua ingestão, o que confirma o grande valor nutricional da castanha como suplemento de tal mineral.

Com o advento de novas técnicas para análise elementar em amostras de origem vegetal (folhas, troncos, sementes), é possível obter informações sobre a distribuição espacial de elementos traços em diversos tecidos da planta sem a necessidade de destruir a amostra, como é feito para a análise de determinação da concentração total. A microfluorescência de raios-X (μ -XRF) é uma delas, a qual tem sido usada para investigar a localização de selênio e outros elementos traços na castanha-da-amazônia, por meio de mapas em 2D, em cortes longitudinais e transversais da semente. Em um trabalho pioneiro com o uso de μ -XRF, realizado por Lima et al. (2019), os autores observaram selênio presente em toda a semente, porém mais concentrado em um anel 1 mm a 2 mm abaixo da superfície da epiderme da semente. Essa área envolve a parte externa dos tecidos do embrião, no parênquima indiferenciado e, possivelmente, no procâmbio.

Variação dos teores de selênio

Estudos têm demonstrado que existe uma relação significativa entre os níveis ambiental e alimentar de selênio. Mais especificamente, o teor de selênio nos alimentos é determinado pela ocorrência e biodisponibilidade deste elemento no solo e pela eficiência do sistema de transferência solo-planta (Winkel et al., 2015). O selênio entra na cadeia alimentar principalmente através das plantas, e os alimentos à base de plantas são uma fonte importante de selênio nas dietas humana e animal. A concentração de selênio nas culturas varia amplamente, não apenas devido às diferenças de espécies em termos de capacidade de acumulação, mas também devido à variação natural na concentração do elemento no solo, que é determinada por processos geológicos (Johnson et al., 2010).

Em virtude do tamanho territorial extensivo que a região amazônica possui, há uma ampla variação em concentrações de selênio nos solos. A concentração na castanha-da-amazônia pode variar em cerca de três ordens de magnitude ($0,2 \mu\text{g.g}^{-1}$ a $512 \mu\text{g.g}^{-1}$) em várias regiões da América do Sul, e assume-se que essa variação esteja, entre outros fatores, fortemente associada a diferenças na concentração desse mineral no solo (Silva Junior et al., 2017). Por isso, na literatura há evidências relatando ampla variação nos teores de selênio contidos na castanha-da-amazônia, tanto quando comparado a amostras de amêndoas provenientes de regiões geográficas diferentes como também dentro de uma mesma população de castanheiras. Há, ainda, indícios de relativa variação, até no nível individual de amêndoas, provenientes de uma mesma planta (Secor; Lisk, 1989).

Aspectos físico-químicos do solo influenciam a especiação química local e a biodisponibilidade de selênio. A ocorrência e a biodisponibilidade desse elemento no solo, assim como a eficiência do sistema de transferência para plantas, são altamente variáveis em todo o mundo. Assim, o estado nutricional de selênio das populações humanas é geralmente correlacionado geograficamente, por isso a biofortificação agronômica tem sido proposta para várias culturas e regiões para aliviar a deficiência de selênio nos seres humanos quando os solos não conseguem suprir adequadamente o elemento às culturas (Broadley et al., 2006; Lv et al., 2014). A biofortificação agronômica consiste na aplicação de selênio via fertilizantes, através do solo ou via foliar, em culturas agrícolas e para a atividade pecuária (arroz, trigo, alface e brachiaria). É um tema que vem sendo bastante discutido no Brasil por causa da necessidade de compreender fatores relacionados à relação solo-planta, como modo de aplicação, dose e momento ideais para que se possa elevar os níveis desse elemento no alimento que consumimos diariamente, seja ele de origem vegetal, seja de origem animal (Ramos et al., 2011, 2012; Boldrin et al., 2013, 2018).

Além da concentração total de selênio no solo, a sua disponibilidade para as plantas – especificamente sua translocação e acumulação na castanha-da-amazônia – é controlada por vários outros parâmetros químicos e físicos, incluindo condições prevalentes de pH e potencial redox, especiação de selênio, textura, mineralogia, atividade microbiana, conteúdo de matéria orgânica e presença de íons concorrentes e outros fatores edáficos (Johnson et al., 2010). Um segundo fator importante no controle e na influência da distribuição desse elemento na castanha-da-amazônia seria o genótipo das castanheiras – e sabe-se que há razoável diversidade genotípica entre as populações de diferentes estados da Amazônia (Sujii et al., 2015). No entanto, estudos mais aprofundados são necessários para que se possa conhecer realmente qual a contribuição do fator genético para a capacidade de acumulação de selênio. Adicionalmente, pesquisas são necessárias para melhor compreender os fatores relacionados à própria planta, como idade, diâmetro e variação genotípica em populações de castanheira-da-amazônia.

A Tabela 1 apresenta uma coletânea de dados de diversos estudos da literatura que reportam a variação nos teores de selênio de acordo com o local de obtenção das amêndoas. Um fato interessante a ser considerado é que as amêndoas obtidas em mercados locais nem sempre foram obtidas e coletadas exatamente naquela região, uma vez que o comércio de castanhas é bastante amplo e atinge não somente os

mercados no Brasil fora da Amazônia, mas também os mercados internacionais. Chang et al. (1995) relataram que as variações nas concentrações de selênio podem ser o reflexo de concentrações mais altas do mineral disponível nos solos da área central da Amazônia (Manaus-Belém), comparado com aquelas do oeste ou variedades de castanheira-da-amazônia que absorvem esse elemento do solo com mais eficiência nesta região, ou ambas as hipóteses estariam contribuindo para os resultados obtidos. Em um outro estudo, realizado por Vonderheide et al. (2002), observou-se a mesma tendência para castanhas-da-amazônia provenientes das mesmas sub-regiões amazônicas quando comparados seus teores de selênio. O material consistiu em amêndoas obtidas descascadas do oeste amazônico (Acre e Rondônia), que apresentaram teor médio de $8 \mu\text{g.g}^{-1}$. O outro grupo foi de amêndoas com casca obtidas de plantas ao longo do Rio Amazonas (Manaus e Belém), as quais apresentaram teor médio de $35 \mu\text{g.g}^{-1}$. Os autores também analisaram as cascas das amêndoas obtidas deste último grupo e encontraram, em média, níveis baixos de selênio ($2 \mu\text{g.g}^{-1}$) comparativamente às próprias amêndoas. De acordo com Pacheco e Scussel (2007), as amêndoas da região oeste do Amazonas (Amaturá e Boca do Acre), tanto descascadas quanto com casca, apresentaram teores de selênio mais baixos do que as castanhas da região leste (Itacoatiara e Autazes).

Parekh et al. (2008) estudaram a variação nos teores de selênio em um contexto mais amplo na Amazônia, o qual englobava amostras provenientes de outros países vizinhos que fazem parte da região e encontraram os seguintes valores médios para os diferentes locais: Brasil ($3,6 \mu\text{g.g}^{-1} \pm 0,4 \mu\text{g.g}^{-1}$), Bolívia ($1,6 \mu\text{g.g}^{-1} \pm 0,1 \mu\text{g.g}^{-1}$), Peru ($6,5 \mu\text{g.g}^{-1} \pm 0,5 \mu\text{g.g}^{-1}$) e norte da América do Sul ($20,2 \mu\text{g.g}^{-1} \pm 1,4 \mu\text{g.g}^{-1}$) – estas últimas são comercializadas nos Estados Unidos. Esses resultados mostraram que as amêndoas obtidas no norte da América do Sul apresentam teores de selênio significativamente superior aos das demais localidades. Dumont et al. (2006) determinaram o teor desse mineral em castanhas-da-amazônia em pacotes provenientes do Brasil e da Bolívia. Os frutos do Brasil apresentaram teor cerca de dez vezes superior aos da Bolívia, com $49,9 \mu\text{g.g}^{-1} \pm 6,4\%$ e $5,1 \mu\text{g.g}^{-1} \pm 10,6\%$ de selênio, respectivamente (Tabela 1).

Secor e Lisk (1989) analisaram 72 amêndoas de castanha-da-amazônia individualmente, obtidas em pacotes de amêndoas com casca e descascadas (Tabela 1), e observaram uma variação extrema no conteúdo de selênio, o que provavelmente reflete diferenças no conteúdo do elemento no solo e sua

disponibilidade, conforme determinado pelo tipo de solo, pH, teor de umidade do solo, entre outros fatores. O teor desse elemento nas amêndoas também pode variar de acordo com a posição do fruto na árvore, conforme influenciado por variações na eficiência do sistema vascular em vários locais do sistema de ramificação (Secor; Lisk, 1989). Além disso, é possível que a maturidade e a extensão do sistema radicular de árvores individuais também sejam fatores importantes que ainda não foram inseridos nas pesquisas mais recentes.

Martins et al. (2012) compararam concentrações de selênio (variando de 9,4 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a 39 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) em amêndoas de castanha-da-amazônia em diferentes classes de tamanhos (pequenas, médias e grandes), mas não encontraram diferença significativa entre as médias para as classes de tamanho (Tabela 1). Manfio et al. (2012) foram mais além e avaliaram o teor de selênio em diferentes partes da castanha. Os resultados mostraram que a película marrom, conhecida como “testa”, que comumente é descartada no processamento industrial de amêndoas para comercialização, tem um potencial de utilização para ser usado como suplemento de selênio e/ou para ser incluído em dietas com baixo teor de fibra/selênio, apesar de apresentar um teor total do mineral relativamente inferior se comparado à amêndoa propriamente dita. Nesse estudo, duas cápsulas de suplemento preliminares de selênio foram desenvolvidas com as películas de amêndoas de duas regiões amazônicas, Cametá-Pará e Manaus-Amazonas.

Tabela 1. Concentração de selênio em amostras de castanha-da-amazônia obtidas de diferentes locais da Amazônia (tipo = forma como as castanhas foram adquiridas).

Local	Quantidade	Tipo	Concentração de Se ($\mu\text{g}\cdot\text{g}$)	Referência	
Itacoatiara, AM	10	Com casca	20,5 (11,1-34,7)	Pacheco e Scussel (2007) ⁽¹⁾	
	10	Descascadas	43,7 (23,7-61,0)		
Autazes, AM	10	Com casca	29,2 (12,9-38,6)		
	10	Descascadas	43,9 (20,7-69,7)		
Boca do Acre, AM	10	Com casca	13,5 (9,7-18,5)		
	10	Descascadas	25,3 (13,8-35,1)		
Amaturá, AM	10	Com casca	11,9 (9,2-16,7)		
	10	Descascadas	21,8 (8,5-29,1)		
Acre-Rondônia	162	Peso fresco	3,06 (0,03-31,7)		Chang et al. (1995) ⁽²⁾
Manaus-Belém	162	Peso fresco	36 (1,25-512)		

(Continua...)

Tabela 1. Continuação.

Local	Quantidade	Tipo	Concentração de Se ($\mu\text{g.g}$)	Referência
Manaus-Belém	5	Com casca	35	Vonderheide et al. (2002) ⁽²⁾
Acre-Rondônia	5	Descascadas	8	
Brasil	-	Peso seco	3,6 \pm 0,4	Parekh et al. (2008) ⁽²⁾
Bolívia	-	Peso seco	1,6 \pm 0,1	
Peru	-	Peso seco	6,5 \pm 0,5	
Norte da América do Sul	-	Peso seco	20,2 \pm 1,4	
Brasil	10	Com casca	49,9 \pm 6,4%	Dumont et al. (2006) ⁽³⁾
Bolívia	10	Descascadas	5,1 \pm 10,6%	
Brasil	24	Granel/descascadas	2,28 (0,30–9)	Secor e Lisk (1989) ⁽³⁾
	24	Pacote/descascadas	4,44 (0,20–35,9)	
	24	Pacote/com casca	37,3 (0,20–253)	
Manaus, AM	10	Pequenas	24,2 (17–39)	Martins et al. (2012) ⁽²⁾
	10	Médias	24,7 (16–37)	
	10	Grandes	19,2 (9,4–39)	
Manaus, AM	5	Tegumento	0,44 \pm 0,02	Manfio et al. (2012) ⁽²⁾
	5	Testa	20,58 \pm 0,32	
	5	Endosperma	44,13 \pm 0,25	
Cametá, PA	5	Tegumento	0,31 \pm 0,03	Manfio et al. (2012) ⁽²⁾
	5	Testa	6,2 \pm 0,05	
	5	Endosperma	19,25 \pm 0,11	
Manaquiri, AM		Peso seco	29,9	Cardoso et al. (2017) ⁽²⁾
Itacoatiara, AM		Peso seco	71,5	
Tocantins		Peso seco	12,5	
São Luís, MA		Peso seco	18,2	
Fortaleza, CE		Peso seco	9,8	
Belém, PA		Peso seco	5	
Óbidos, PA		Peso seco	11,6	

¹ Amostras coletadas diretamente do sítio florestal;

² Amostras obtidas em mercado/fábrica beneficiadora local;

³ Amostras obtidas em mercado internacional.

Uma tentativa de relacionar fatores do solo com a acumulação de selênio em amêndoas de castanha-da-amazônia em uma escala mais ampla de amostragem na Amazônia foi realizada por Silva Junior et al. (2017). Nesse estudo, amostras de solo em três camadas diferentes (0-20, 20-40 cm e 40-60 cm) e em ouriços de

castanha-da-amazônia foram coletados em cinco sítios de amostragem localizados em importantes estados brasileiros, no contexto de produção de castanha-da-amazônia: Sena Madureira, AC, Itaúba, MT, Itacoatiara, AM, Caracaraí, RR e Laranjal do Jari, AP. Entre todas as amostras, a concentração de selênio nas amêndoas variou de $< 0,5 \mu\text{g.g}^{-1}$ a $151 \mu\text{g.g}^{-1}$, entretanto as amostras dos sítios no Amazonas e Amapá apresentaram as maiores concentrações (médias de $69 \mu\text{g.g}^{-1}$ e $59 \mu\text{g.g}^{-1}$, respectivamente); em seguida, Roraima (média $15 \mu\text{g.g}^{-1}$); enquanto as amostras dos sítios nos estados do Acre e Mato Grosso apresentaram as menores concentrações (médias de $3 \mu\text{g.g}^{-1}$ e $3,7 \mu\text{g.g}^{-1}$, respectivamente). O mesmo padrão foi observado para o conteúdo total de selênio por amêndoa individual, conforme mostrado na Figura 2.

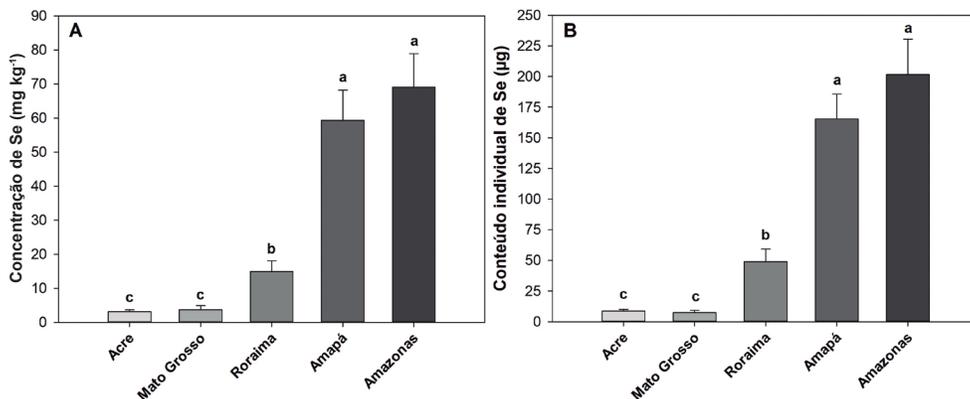


Figura 2. Dados médios de concentração de selênio na castanha-da-amazônia (A) e conteúdo de selênio em castanhas-da-amazônia individuais (B). As amostras foram coletadas em cinco estados brasileiros da região Amazônica: Sena Madureira, AC ($n = 14$), Itaúba, MT ($n = 12$), Caracaraí, RR ($n = 14$), Laranjal do Jari, AP ($n = 15$) e Itacoatiara, AM ($n = 16$). Barras de erro são o erro-padrão da média (EPM) de cada sítio amostral. As letras no topo de cada barra indicam o resultado do teste de Tukey ($p = 0,05$) para concentração de selênio transformado em log ou conteúdo de selênio total de castanhas-da-amazônia individuais, seguido de uma ANOVA significativa ($p < 0,001$) com quadrados mínimos generalizados.

Fonte: Adaptado de Silva Junior et al. (2017).

No conjunto de amostras de solo dos cinco sítios avaliados em três profundidades (0 cm–20 cm, 20 cm–40 cm e 40 cm–60 cm), a concentração total de selênio variou de $< 65,76 \mu\text{g.g}^{-1}$ a $625,91 \mu\text{g.g}^{-1}$, que equivale a um teor máximo de $0,626 \mu\text{g.g}^{-1}$. As maiores concentrações desse elemento no solo coincidiram com os sítios em que

foram obtidas as maiores concentrações nas amêndoas de castanha-da-amazônia (Figura 3). A distribuição geográfica da concentração de selênio no solo nos cinco locais selecionados para amostragem tem uma relação bastante interessante com a posição do curso principal do Rio Amazonas na Bacia Amazônica. Os locais que apresentam solos com maior concentração de tal mineral localizam-se mais próximos ao Rio Amazonas (Amapá e Amazonas), que distam aproximadamente 70 km e 30 km, respectivamente. Os locais mais distantes (Acre e Mato Grosso, com distância de aproximadamente 900 km e 1.000 km), entretanto, apresentaram solos com as menores concentrações de selênio, conforme observado na Figura 3 (Silva Junior et al., 2017). Sobre a relação solo-planta, os autores relataram que a concentração total de selênio no solo, por si só, não explica de forma satisfatória a variabilidade observada na concentração de tal mineral na castanha-da-amazônia entre os sítios estudados nos cinco estados brasileiros. No entanto, quando as propriedades do solo são analisadas em conjunto, dois gradientes fortes que influenciam o acúmulo desse elemento nas amêndoas podem ser observados: um relacionado à acidez do solo e, conseqüentemente, à adsorção de selênio nestes solos tropicais, e o outro relacionado à concentração total desse no solo.

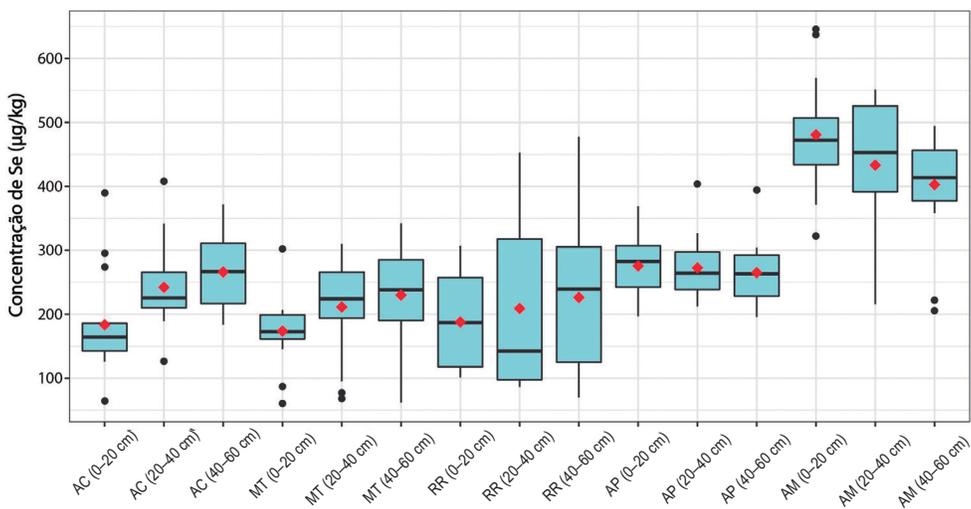


Figura 3. Distribuição de dados para concentração de selênio no solo em amostras coletadas em três camadas distintas (0 cm–20 cm, 20 cm–40 cm e 40 cm–60 cm), em diferentes sítios de ocorrência da castanha-da-amazônia (Acre, Mato Grosso, Roraima, Amapá e Amazonas), representados por Box-and-whisker plot. Linha horizontal representa mediana e losango vermelho o valor médio.

Fonte: Adaptado de Silva Junior et al. (2017).

As concentrações médias de selênio nos solos do Acre e Mato Grosso, que também foram inferiores aos demais locais, tenderam a aumentar com a profundidade do solo. Já as concentrações médias nos solos do Amapá e Amazonas diminuíram com a profundidade (Figura 3). Em pesquisas futuras para correlacionar os teores de selênio acumulados na amêndoa com a concentração no solo, seria ideal amostrar camadas mais profundas do solo, uma vez que é sabido que as raízes da castanheira-da-amazônia podem chegar a profundidades superiores a 60 cm a partir da superfície do solo. Isso seria justificável para confirmar se as concentrações em camadas profundas são superiores ou inferiores às camadas superficiais e se isso varia geograficamente entre solos da região amazônica.

Com base nos dados do estudo realizado por Silva Junior et al. (2017), e levando em conta a dose diária recomendada de selênio de $70 \mu\text{g}\cdot\text{dia}^{-1}$ (para homens) para suplementação desse mineral, por exemplo, a quantidade média do elemento fornecida (percentual) por uma única castanha de cada localidade seria: 11% em Mato Grosso; 12% no Acre; 70% em Roraima; 236% no Amapá; e 288% no Amazonas. Ainda assim, mesmo com uma ingestão de muitas amêndoas por dia, os efeitos tóxicos causados pelo excesso de selênio só devem ser um problema se a exposição a altas concentrações se prolongar por muito tempo.

Considerações finais

A ampla variação nos teores totais de selênio na castanha-da-amazônia revela que a recomendação de ingestão de uma amêndoa por dia pode, por muitas vezes, ser insuficiente ou demasiada, a depender do seu local de origem. Sugere-se, então, que os produtos alimentícios e os derivados de castanha-da-amazônia possam ser rotulados de forma a exibir o valor médio do mineral no quadro de informações nutricionais. Futuramente, esse tipo de informação pode ter um impacto no preço médio das amêndoas comercializadas, uma vez que, conforme o interesse do consumidor, aquelas com maiores teores de selênio poderão ser mais valorizadas.

No que se refere aos fatores relativos ao solo, mais pesquisas são necessárias para confirmar o nível de contribuição desses fatores, com um espectro mais amplo de amostragem, já que os estudos que correlacionam selênio no sistema solo-planta são ainda escassos.

As pesquisas atuais apontam para investigações futuras com bioacessibilidade e biodisponibilidade de selênio nas amêndoas de castanha-da-amazônia, visto que

é sabido que a quantidade de selênio de uma amêndoa é apenas parcialmente absorvida pelo organismo humano, e isso pode variar entre as populações de castanheiras-da-amazônia, assim como o teor total.

Referências

- BOLDRIN, P. F.; FAQUIN, V.; RAMOS, S. J.; BOLDRIN, K. V. F.; ÁVILA, F. W.; GUILHERME, L. R. G. Soil and foliar application of selenium in rice biofortification. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 31, n. 2, p. 238-244, Sept. 2103. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2013.06.002>.
- BOLDRIN, P. F.; FAQUIN, V.; SAMPAIO, C.; ANDRADE, T. DE.; GUILHERME, L. R. G. Genotypic variation and biofortification with selenium in Brazilian wheat cultivars. **Journal of Environmental Quality**, v. 47, n. 6, p. 1371-1379, Nov. 2018. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq2018.01.0045>.
- BROADLEY, M. R.; WHITE, P. J.; BRYSON, R. J.; MEACHAM, M. C.; BOWEN, H. C.; JOHNSON, S. E.; HAWKESFORD, M. J.; MCGRATH, S. P.; ZHAO, F.; BREWARD, N.; HARRIMAN, M.; TUCKER, M. Biofortification of UK food crops with selenium. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 65, n. 2, p. 169-181, May 2006. DOI: <https://doi.org/10.1079/PNS2006490>.
- CARDOSO, B. R.; DUARTE, G. B. S.; REIS, B. Z.; COZZOLINO, S. M. F. Brazil nuts: nutritional composition, health benefits and safety aspects. **Food Research International**, v. 100, part 2, p. 9-18, Oct. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.08.036>.
- CHANG, J. C.; GUTENMANN, W. H.; REID, C. M.; LISK, D. J. Selenium content of Brazil nuts from two geographic locations in Brazil. **Chemosphere**, v. 30, n. 4, p. 801-802, Feb. 1995. DOI: [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(94\)00409-N](https://doi.org/10.1016/0045-6535(94)00409-N).
- COMBS JUNIOR, G. F. Selenium in global food systems. **British Journal of Nutrition**, v. 85, n. 5, p. 517-547, May 2001. DOI: <https://doi.org/10.1079/BJN2000280>.
- DUMONT, E.; DE PAUW, L.; VANHAECKE, F.; CORNELIS, R. Speciation of Se in *Bertholletia excelsa* (Brazil nut): a hard nut to crack? **Food Chemistry**, v. 95, n. 4, p. 684-692, Apr. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.04.004>.
- FAIRWEATHER-TAIT, S. J.; COLLINGS, R.; HURST, R. Selenium bioavailability: current knowledge and future research. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 91, n. 2, p. 1484S-1491S, May 2010. DOI: <https://doi.org/10.3945/ajcn.2010.28674j>.
- JOHNSON, C. C.; FORDYCE, F. M.; RAYMAN, M. P. Symposium on 'Geographical and geological influences on nutrition': Factors controlling the distribution of selenium in the environment and their impact on health and nutrition. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 69, n. 1, p. 119-132, Feb. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1017/s0029665109991807>.
- JONES, G. D.; DROZ, B.; GREVE, P.; GOTTSCHALK, P.; POFFET, D.; MCGRATH, S. P.; SENEVIRATNE, S. I.; WINKEL, L. H. E. Selenium deficiency risk predicted to increase under future climate change. **PNAS**, v. 114, n. 11, p. 1-6, Jan. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1611576114>.
- KIPP, A. P.; STROHM, D.; BRIGELIUS-FLOHÉ, R.; SCHOMBURG, L.; BECHTHOLD, A.; LESCHIK-BONNET, E.; HESEKER, H. Revised reference values for selenium intake. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 32, p. 195-199, Oct. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2015.07.005>.

LEMIRE, M.; FILLION, M.; BARBOSA, F.; GUIMARÃES, J. R. D.; MERGLER, D. Elevated levels of selenium in the typical diet of Amazonian riverside populations. **Science of the Total Environment**, v. 408, n. 19, p. 4076-4084, Sept. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.05.022>.

LEMIRE, M.; PHILIBERT, A.; FILLION, M.; PASSOS, C. J. S.; GUIMARÃES, J. R. D.; JUNIOR, F. B.; MERGLER, D. No evidence of selenosis from a selenium-rich diet in the Brazilian Amazon. **Environment International**, v. 40, n. 1, p. 128-136, Apr. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2011.07.005>.

LIMA, L. W.; STONEHOUSE, G. C.; WALTERS, C.; MEHDAMI, A. F. E. L.; FAKRA, S. C.; PILON-SMITS, E. A. H. Selenium accumulation, speciation and localization in Brazil nuts (*Bertholletia excelsa* H.B.K.). **Plants**, v. 8, n. 8, p. 17, Aug. 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390%2Fplants8080289>.

LV, Y.; YU, T.; YANG, Z.; ZHAO, W.; ZHANG, M.; WANG, Q. Constraint on selenium bioavailability caused by its geochemical behavior in typical Kaschin-Beck disease areas in Aba, Sichuan Province of China. **Science of the Total Environment**, v. 493, p. 737-749, Sept. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.050>.

MAIHARA, V. A.; GONZAGA, I. B.; SILVA, V. L.; FÁVARO, D. I. T.; VASCONCELLOS, M. B. A.; COZZOLINO, S. M. F. Daily dietary selenium intake of selected Brazilian population groups. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 259, n. 3, p. 465-468, Mar. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:JRNC.0000020919.58559.dd>.

MANFIO, D.; BEIRAO, L. H.; DAMIAN, C.; SAVI, G. D.; SCUSSEL, V. M. Brazil nut (*Bertholletia excelsa* H. B. K.) brown skin characterization-a waste product generated from shelled dry nut factories of Amazon region. **Agricultural Science Research Journals**, v. 2, n. 2, p. 253-260, 2012. Disponível em: <https://archive.aessweb.com/index.php/5005/article/view/561>. Acesso em: 15 ago. 2022.

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**, v. 42, n. 1, p. 157-164, Mar. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672012000100018>.

MEHDI, Y.; HORNICK, J. L.; ISTASSE, L.; DUFRASNE, I. Selenium in the environment, metabolism and involvement in body functions. **Molecules**, v. 18, n. 3, p. 3292-3311, Mar. 2013. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules18033292>.

NATASHA; SHAHID, M.; NIAZI, N. K.; KHALID, S.; MURTAZA, B.; BIBI, I.; RASHID, M. I. A critical review of selenium biogeochemical behavior in soil-plant system with an inference to human health. **Environmental Pollution**, v. 234, p. 915-934, Dec. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.019>.

PACHECO, A. M.; SCUSSEL, V. M. Selenium and aflatoxin levels in raw Brazil nuts from the Amazon basin. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 26, p. 11087-11092, Dec. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf072434k>.

PAREKH, P. P.; KHAN, A. R.; TORRES, M. A.; KITTO, M. E. Concentrations of selenium, barium, and radium in Brazil nuts. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 21, n. 4, p. 332-335, June 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2007.12.001>.

RAMOS, S. J.; ÁVILA, F. W.; BOLDRIN, P. F.; PEREIRA, F. J.; CASTRO, E. M.; FAQUIN, V.; REIS, A. R.; GUILHERME, L. R. G. Response of Brachiaria grass to selenium forms applied in a tropical soil. **Plant, Soil and Environment**, v. 58, n. 11, p. 521-527, 2012. DOI: 10.17221/559/2012-PSE.

RAMOS, S. J.; FAQUIN, V.; ALMEIDA, H, J, D.; ÁVILA, F. W.; GUILHERME, L. R. G.; BASTOS, C. E. A.; ÁVILA, P. A. Selenato e selenito na produção, nutrição mineral e biofortificação com selênio em cultivares de alface. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p. 1347-1355, ago. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000400029>.

SECOR, C. L.; LISK, D. J. Variation in the selenium content of individual brazil nuts. **Journal of Food Safety**, v. 9, n. 4, p. 279-281, Jan. 1989. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4565.1989.tb00527.x>.

SELINUS, O.; ALLOWAY, B.; CENTENO, J. A.; FINKELMAN, R. B.; FUGE, R.; LINDH, U.; SMEDLEY, P. (ed). **Essentials of medical geology**: revised edition. Dordrecht, Heidelberg: Springer, 2013. 808 p.

SILVA JUNIOR, E. C.; WADT, L. H. O.; SILVA, K. E.; LIMA, R. M. B.; BATISTA, K. D.; GUEDES, M. C.; CARVALHO, G. S.; CARVALHO, T. S.; REIS, A. R.; LOPES, G.; GUILHERME, L. R. G. Natural variation of selenium in Brazil nuts and soils from the Amazon region. **Chemosphere**, v. 188, p. 650-658, Dec. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.08.158>.

SILVA, E. G. da; MATAVELI, L. R. V.; ARRUDA, M. A. Z. Speciation analysis of selenium in plankton, Brazil nut and human urine samples by HPLC-ICP-MS. **Talanta**, v. 110, p. 53-57, June 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2013.02.014>.

SUJII, P. S.; MARTINS, K.; WADT, L. H. O.; AZEVEDO, V. C. R.; SOLFERINI, V. N. Genetic structure of *Bertholletia excelsa* populations from the Amazon at different spatial scales. **Conservation Genetics**, v. 16, p. 955-964, Aug. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10592-015-0714-4>.

VONDERHEIDE, A. P.; WROBEL, K.; KANNAMKUMARATH, S. S.; B'HYMER, C.; MONTES-BAYÓN, M.; PONCE DE LEÓN, C.; CARUSO, J. A.; DE LEÓN, C. P.; CARUSO, J. A. Characterization of selenium species in Brazil nuts by HPLC-ICP-MS and ES-MS. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 20, p. 5722-5728, Aug. 2002. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf0256541>.

WINKEL, L. H. E.; VRIENS, B.; JONES, G. D.; SCHNEIDER, L. S.; PILON-SMITS, E.; BANUELOS, G. S. Selenium cycling across soil-plant-atmosphere interfaces: a critical review. **Nutrients**, v. 7, n. 6, p. 4199-4239, May 2015. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu7064199>.



Apoio



www.theGEF.org



*Empoderando vidas.
Fortalecendo nações.*



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA E
PECUÁRIA



9 786589 195792 8

CGPE 018127