



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
CENTRO DE CIÊNCIAS DO AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO AMBIENTE E
SUSTENTABILIDADE DA AMAZÔNIA – PPG CASA

LUAN MOÇO ARNAUD SOARES

Impacto ambiental e social da utilização da casca da castanha-do-Brasil
(*Bertholletia excelsa*) por uma usina de beneficiamento do estado do Amazonas

MANAUS/AM
2025

LUAN MOÇO ARNAUD SOARES

Impacto ambiental e social da utilização da casca da castanha-do-Brasil
(*Bertholletia excelsa*) por uma usina de beneficiamento do estado do Amazonas

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Ciências do
Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia da
Universidade Federal do Amazonas, como
requisito para obtenção do título de Mestre em
Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na
Amazônia.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Augusto da Silva

MANAUS
2025

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

-
- S676i Soares, Luan Moço Arnaud
Impacto ambiental e social da utilização da casca da castanha-do-Brasil
(Bertholletia excelsa) por uma usina de beneficiamento do estado do
Amazonas / Luan Moço Arnaud Soares. - 2025.
70 f. : il., color. ; 31 cm.
- Orientador(a): Carlos Augusto da Silva.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Amazonas, Programa
de Pós-Graduação Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia,
Manaus, 2025.
1. eficiência energética. 2. resíduos. 3. biomassa. 4. sustentabilidade. I.
Silva, Carlos Augusto da. II. Universidade Federal do Amazonas.
Programa de Pós-Graduação Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na
Amazônia. III. Título
-

LUAN MOÇO ARNAUD SOARES

Impacto ambiental e social da utilização da casca da castanha-do-Brasil
(*Bertholletia excelsa*) por uma usina de beneficiamento do estado do Amazonas

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Augusto da Silva

Banca examinadora

Documento assinado digitalmente
 JOZANE LIMA SANTIAGO
Data: 23/10/2025 14:03:17-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Profa. Dra. Jozane Lima Santiago
Universidade Federal do Amazonas

Documento assinado digitalmente
 VINÍCIUS VERONA CARVALHO GONÇALVES
Data: 23/10/2025 13:55:11-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Vinícius Verona Carvalho Gonçalves
Universidade Federal do Amazonas

Documento assinado digitalmente
 MONICA SUANI BARBOSA DA COSTA
Data: 24/10/2025 16:52:11-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Profa. Dra. Mônica Suani Barbosa da Costa
Universidade Federal do Amazonas

Aos meus Pais, David Arnaud Soares
e Tania Ribeiro Moço que me apoiam
desde sempre nos meus projetos.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a todos os professores e professoras que contribuíram significativamente para a minha formação acadêmica e para o desenvolvimento deste trabalho, compartilhando seus conhecimentos, orientações e experiências ao longo desta jornada. Agradeço, especialmente, ao meu orientador, Professor Carlos Augusto da Silva, pela orientação dedicada, pelos ensinamentos compartilhados e pela confiança depositada em meu trabalho, que foram fundamentais para o desenvolvimento desta dissertação.

Manifesto também meu agradecimento aos colegas e alunos que, direta ou indiretamente, participaram deste processo, seja com palavras de incentivo, apoio nas atividades ou troca de ideias e conhecimento que enriqueceram a construção deste estudo.

Aos representantes da usina de beneficiamento de Amaturá e aos colaboradores que gentilmente dedicaram seu tempo e contribuíram com informações importantes, deixo registrado meu profundo reconhecimento e apreço. A participação e o comprometimento de cada um foram essenciais para a concretização desta pesquisa.

Agradeço, ainda, à minha família, pelo apoio incondicional, compreensão e amor, que sempre me impulsionaram a seguir em frente, mesmo diante dos desafios, à minha namorada, Lívia Natividade da Cruz, por sua presença e pelos momentos de apoio que contribuíram para os desfechos desta dissertação. Por fim, dedico um agradecimento muito especial à minha filha Aurora da Silva Moço Arnaud, cuja existência me inspira diariamente e me dá forças para lutar pelos nossos sonhos e objetivos.

A sustentabilidade verdadeira acontece quando aquilo que descartamos passa a ter valor é nisso que a biomassa é revolucionária.

(Ignacy Sachs)

RESUMO

A usina de Amaturá é responsável pelo beneficiamento da castanha-do-Brasil e a distribuição deste alimento. Foi analisado o processo logístico do funcionamento da usina através de fotos e informações adquiridas. A metodologia se baseia em captar as informações do processo logístico desde da área de estudo até a destinação final das cinzas da casca da castanha. A demanda de resíduos da casca da castanha-do-Brasil coletados é proveniente de comunidades indígenas e ribeirinhas, sendo o deslocamento e a coleta realizados por atravessadores ou pelos próprios extrativistas, que levam o material para a usina. A caldeira é um equipamento projetado para transferir calor de uma fonte de alta temperatura para um fluido de trabalho, com o objetivo de gerar vapor com características específicas. Dessa forma, a queima das cascas na caldeira gera energia para a própria usina. Para melhorar a eficiência energética é importante que o teor de umidade das cascas fosse baixo, pois a alta umidade do resíduo possuía menor valor calorífico, já que parte da energia é consumida na evaporação durante a combustão. Os resultados foram benéficos o que diz a geração de renda para as comunidades envolvidas, mesmo que ainda em valores baixos, além de que a quantidade de cascas, como fonte energética gera um impacto positivo para redução de custos e mudanças climáticas, no entanto a falta de apoio do governo e a precariedade dos equipamentos reduz a qualidade do processo e de serviço da comunidade. Este trabalho teve como objetivo investigar o impacto ambiental e social da utilização dos resíduos da casca da castanha-do-Brasil como fonte energética no município de Amaturá e observar as vantagens e desvantagens em relação ao processo operacional e qualidade dos equipamentos, a fim de valorizar a espécie da castanha-do-Brasil como patrimônio histórico e cultural, além de enfatizar a utilização dos resíduos da espécie em sua utilização como Biomassa e também em diversos setores agroindustriais e na fabricação de produtos, desempenhando um papel de economia circular e valorizando a espécie da Castanheira em Pé, o que também agrega inclusão social e possibilidade de melhores condições para os trabalhadores rurais e comunidades indígenas que atuam diretamente com o manejo da castanha-do-Brasil.

Palavras-Chave: eficiência energética; resíduos; biomassa; sustentabilidade

ABSTRACT

The Amaturá plant is responsible for processing Brazil nuts and distributing this food product. The logistics process of the plant's operation was analyzed through photos and acquired information. The methodology is based on gathering information on the logistics process from the study area to the final destination of the Brazil nut shell ash. The demand for Brazil nut shell residues comes from Indigenous and riverside communities, with the transportation and collection carried out by middlemen or the extractivists themselves, who deliver the material to the plant. The boiler is a piece of equipment designed to transfer heat from a high-temperature source to a working fluid, with the goal of generating steam with specific characteristics. In this way, the burning of the shells in the boiler generates energy for the plant itself. To improve energy efficiency, it is important that the moisture content of the shells is low, since high moisture in the residue results in a lower calorific value, as part of the energy is consumed during evaporation in combustion. The results were beneficial in terms of income generation for the involved communities, even though the earnings are still low. Additionally, the use of shells as an energy source has a positive impact on cost reduction and climate change mitigation. However, the lack of government support and the poor condition of the equipment reduce the quality of the process and the service provided by the community. This work aimed to investigate the environmental and social impact of using Brazil nut shell residues as an energy source in the municipality of Amaturá and to observe the advantages and disadvantages related to the operational process and equipment quality. The goal is to promote the Brazil nut species as a historical and cultural heritage, while emphasizing the use of its residues as biomass and their application in various agro-industrial sectors and product manufacturing. This approach plays a role in the circular economy and highlights the standing Brazil nut tree, contributing to social inclusion and the possibility of better conditions for rural workers and Indigenous communities directly involved in Brazil nut management.

Keywords: energy efficiency; residues; biomass; sustainability

LISTA DE SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

APROCAM - Associação dos Produtores de Castanha de Amaturá

COOBEPAM - Cooperativa dos Beneficiadores de Produtos Agroextrativistas de Amaturá

CO₂ – Dióxido de carbono

COVs – Compostos orgânicos voláteis

CH₄ – Metano

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPI – Equipamento de Proteção Individual

FDA – Food & Drug Administration

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IDESP - Instituto de desenvolvimento social, econômico e ambiental do Pará

IEA – International Agency Energy

IPCC – Intergovernmental painel on climate change

kg – quilograma

kWh – quilowatt-hora

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações

MJ - Megajoule

NO_x – Óxidos de nitrogênio

NR – Norma regulamentadora

ODS – Objetivos de desenvolvimento sustentável

PCI – Poder calorífico inferior

PMB – Produto Mundial Bruto

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o meio ambiente

SEAB - Secretaria de Estado da agricultura e do abastecimento rural

SO₂ – Dióxido de enxofre

SI – Silício

UFAM – Universidade Federal do Amazonas

LISTA DE GRÁFICOS E FIGURAS

Gráfico 1. Produtividade de castanhas-do-Brasil nos municípios do Amazonas	33
Gráfico 2. Resíduos gerados pela produividade da castanha-do-Brasil nos municípios do Amazonas	34
Figura 1. Localização em mapa do município de Amaturá – Amazonas.	41
Figura 2. Usina de Beneficiamento de Castanha e Óleo vegetal	42
Figura 3. Autoclave	43
Figura 4. Caldeira	44
Figura 5. Estufa	45
Gráfico 3. Potencial energético da Castanha-do-Brasil e outras biomassas	49

LISTA DE TABELAS E FLUXOGRAMA

Tabela 1. Análise de dados	53
Fluxograma 1. Processo de Aproveitamento da Casca da Catanha-do-Brasil na Usina de Amaturá	55

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. JUSTIFICATIVA.....	17
3. OBJETIVOS.....	19
3.1 OBJETIVO GERAL.....	19
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
4. HIPÓTESES	20
5. REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
5.1 RESÍDUOS NO CONTEXTO DA SUSTENTABILIDADE AMAZÔNICA.....	20
5.2 A TRANSIÇÃO DE ENERGIAS NÃO RENOVÁVEIS PARA SOLUÇÕES RENOVÁVEIS	24
6. VALOR SOCIOECONÔMICO E AMBIENTAL DOS RESÍDUOS VEGETAIS...26	
6.1 IMPORTÂNCIA DA BIOMASSA.....	26
6.2 CONSTRUÇÃO CIVIL	28
6.3 EFICIÊNCIA DA BIOMASSA NO SETOR INDUSTRIAL	29
6.3.1 <i>Caldeira</i>	30
6.4 ADUBAÇÃO ORGÂNICA	31
7. A CASTANHA DO BRASIL.....	31
7.1 RESÍDUOS DA CASTANHA-DO-BRASIL	33
7.1.1 <i>Ouriço</i>	35
7.1.2 <i>Amêndoa</i>	35
7.1.3 <i>Casca</i>	36
7.1.4 <i>Potencial energético da biomassa</i>	36
7.2 O BIOMA AMAZÔNICO: RESÍDUOS E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	37
8. IMPULSIONADORES DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	37
8.1 IMPULSIONADORES AMBIENTAIS	38
8.2 IMPULSIONADORES SOCIAIS	38
8.3 IMPULSIONADORES SOCIOECONÔMICOS	39
8.4 DESAFIOS E POTENCIALIDADES.....	39
9. METODOLOGIA	40
9.1 INTRODUÇÃO DA METODOLOGIA	40
9.2 ÁREA DE ESTUDO	40
10. RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
10.1 USINA E COMUNIDADES ENVOLVIDAS	45
10.2 USO DA CASCA DA CASTANHA-DO-BRASIL NA CALDEIRA.....	47
10.2.1 <i>Etapas envolvidas no uso da biomassa</i>	48

10.3	POTENCIAL ENERGÉTICO DE BIOMASSAS	49
10.4	IMPACTO AMBIENTAL DO USO DA CASTANHA-DO-BRASIL NA REGIÃO DE AMATURÁ .	51
10.5	INCLUSÃO SOCIAL E FORTALECIMENTO DAS CADEIAS PRODUTIVAS	52
10.6	LIMITAÇÕES DO PROCESSO E DESAFIOS IDENTIFICADOS.....	52
10.7	IMPACTO SOCIOECONÔMICO	57
10.8	ANÁLISE CRÍTICA	57
11.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	58
12.	REFERÊNCIAS	59

1. INTRODUÇÃO

A castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*) pertence à família Lecythidaceae, é uma espécie de grande valor ecológico, social e econômico para a Amazônia. No contexto do agroextrativismo constitui uma das principais fontes de economia e de valorização da espécie nativa, também gera manutenção ecológica e qualidade de vida à sociobiodiversidade. Existem evidências que apontam a possibilidade que parte da Amazônia apresenta um cenário de paisagem antropogênica, ou seja, administrada e domesticada por povos indígenas pré-colombianos em vários graus em vez de uma floresta intocada (Balée, 1989; Denvenan, 2011; Clement et al., 2010; Heckenberger et al., 2003; Levis et al., 2012). As sementes da castanha-do-brasil, têm sido usadas para subsistência por povos indígenas na floresta Amazônica por milhares de anos, assim como há evidências que esses povos influenciaram significativamente a distribuição atual desta espécie pela Amazônia (Shepard et al., 2011).

O valor da castanheira vai além de sua capacidade biológica, representando também um patrimônio histórico e cultural. A espécie contribui para uma rica diversidade de práticas de manejo e para paisagens humanizadas que beneficiam o meio ambiente. Sua distribuição espacial abrange toda a região amazônica brasileira, nos estados de Rondônia, Acre, Amazonas, Pará, Roraima, Tocantins e Mato Grosso, além de outros países como Venezuela, Colômbia, Peru, Bolívia e Guiana Francesa, portanto, na Amazônia Continental. A castanha é um dos principais produtos florestas brasileiras, ocupando o terceiro lugar em importância entre os produtos alimentícios no Brasil. Ela está associada a mais de 60 mil famílias de povos e comunidades tradicionais, distribuídas em cerca de 100 organizações comunitárias, incluindo associações, agroindústrias e cooperativas. Nos últimos 15 anos em escala global a produtividade da castanha aumentou aproximadamente 700%, impulsionando um mercado global movimentando entre US\$ 300 a US\$ 400 milhões anualmente (EMBRAPA, 2023).

Os resíduos da castanha, tais como casca e ouriço, têm diversas aplicações, incluindo construção civil, artesanato, produção de madeira e eficiência energética. A reutilização desses resíduos em produtos e serviços de larga escala contribui para a redução do impacto ambiental, alinhando-se aos princípios da economia circular, que preconiza a redução, reutilização, recuperação e reciclagem de materiais, promovendo eficiência no uso dos recursos naturais (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2019).

Atividades antrópicas, como a construção civil e a geração de energia, são fontes significativas de impacto ambiental. Nesse contexto, a utilização de recursos vegetais para serviços energéticos e industriais representa uma oportunidade de aumentar a eficiência sustentável. O Brasil se destaca como uma potência agrícola e está entre os maiores produtores de resíduos agroindustriais globalmente, com destaque para a soja e a cana de açúcar (SEAB, 2013). A pesquisa e a aplicação da biomassa florestal, como a casca da castanha-do-Brasil, possuem grande potencial econômico, desde que realizadas de maneira responsável, respeitando a saúde ambiental e a conservação das espécies. A gestão adequada desses resíduos, pode tornar o uso da biomassa uma prática viável e benéfica, promovendo sustentabilidade e valorização de empresas comprometidas com práticas ambientais responsáveis (Reis, 2015). Em 2022, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) reforça o protagonismo do Brasil em fontes renováveis de energia, destacando o setor energético renovável e as políticas necessárias para assegurar equilíbrio e igualdade de oportunidades na competição entre as diversas tecnologias de geração.

A amêndoa da castanha-do-Brasil é rica em fonte de ácidos graxos insaturados, proteínas, fibras, vitaminas e apresenta alto teor de selênio, oligoelemento essencial para a saúde humana. Seu consumo contribui para o equilíbrio oxidativo, redução de mediadores inflamatórios e prevenção de doenças, como diabete mellitus, dislipidemias, doenças cardiovasculares, envelhecimento precoce e redução da severidade da COVID-19 (Di stadio, et al., 2020).

A coleta e o manuseio da castanha, realizados pelas comunidades extrativistas, podem favorecer a proliferação de fungos devido às condições climáticas e ao acúmulo das sementes. Durante a logística de transporte até a usina, sementes contaminadas podem propagar fungos e comprometer a qualidade do produto. A ausência de boas práticas de armazenamento e manejo impacta negativamente a produtividade a saúde do trabalhador (Álvares, et al., 2012). Portanto, o incentivo ao manejo adequado pelas comunidades, aliado ao suporte da usina, é essencial para preservar a qualidade da castanha-do-Brasil.

A cadeia produtiva da castanha-do-Brasil na Amazônia é predominante manual e envolve diversas comunidades. As condições climáticas aumentam o risco de contaminação por micotoxinas, tornando necessária uma logística eficiente, incluindo infraestrutura adequada, boas práticas de manuseio, remuneração justa e monitoramento constante. Além do comércio da castanha, seus recursos secundários possuem valor agregado em eficiência energética e construção civil, podendo ser reaproveitados integralmente na cadeia produtiva.

Na Amazônia, vários municípios desenvolvem atividades agroextrativistas da castanha-do-Brasil. Esta pesquisa concentra-se na usina de Amaturá (AM), localizada no Rio Solimões, conhecida como grande produtora da castanha. A usina beneficia a castanha por agroextrativistas de diversas comunidades e realiza a distribuição para clientes individuais e feiras em Manaus

A Cooperativa dos Beneficiadores de Produtos Agroextrativistas de Amaturá (COOBEPAM), composta por 29 pessoas, opera em conjunto com a Associação dos Produtores de Castanha de Amaturá (APROCAM), formada por 85 membros. Desde 2008, aproximadamente 100 famílias rurais participam da coleta e beneficiamento da castanha-do-Brasil (Marioza, 2022).

A Usina reaproveita os resíduos da castanha em caldeira para eficiência energética, reduzindo emissões de gases de efeito estufa. Amaturá destaca-se como um polo estratégico da cadeia produtiva da castanha-do-Brasil no Amazonas, contribuindo para geração de renda, preservação de práticas tradicionais e conservação ambiental. Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2023), a biomassa é responsável por cerca de 10% do fornecimento global de energia, sendo uma das principais fontes renováveis para substituir combustíveis fósseis.

Diante desse contexto, o objetivo desta dissertação é analisar, por meio de dados secundários e documentais junto às associações locais, a logística de utilização da casca da castanha-do-Brasil e avaliar os impactos ambientais e sociais do seu uso em caldeiras na Usina de Beneficiamento de Castanha e Óleo vegetal de Amaturá.

2. JUSTIFICATIVA

A utilização da biomassa da casca da castanha-do-Brasil e outros materiais orgânicos, como fonte energética incentiva o aproveitamento da matéria orgânica de forma sustentável, contribuindo para a mitigação de impactos ambientais e econômicos, incluindo a redução da emissão de gases de efeito estufa. Esses resíduos possuem alto valor agregado, tanto em termos produtivos quanto na qualidade química e ecológica, sendo a Amazônia um território estratégico devido a abundância de resíduos florestais e diversidade vegetal distribuída ao longo da região.

O uso da biomassa para produção de energia permite aproveitar as propriedades físico-químico das espécies vegetais, promovendo, simultaneamente a conservação de espécies e biomas. Além disso, essa prática agrega valor ecológico e socioeconômico à

Amazônia, gerando economia, reduzindo a emissão de poluentes atmosféricos e contribuindo para créditos de carbono.

Para compreender a eficiência energética da biomassa, é necessário conhecer suas propriedades físico-químicas, incluindo teor da umidade, composição elementar (carbono, hidrogênio, oxigênio), poder calorífico e densidade energética. No caso da casca da castanha-do-Brasil, a quantidade de resíduos coletados pela usina é significativa, aproximadamente 800kg durante a safra e 400kg na entressafra. Esses resíduos são reaproveitados na própria usina, sendo utilizados em caldeiras para geração de vapor, contribuindo para a economia de energia da estufa da unidade.

Nas últimas décadas, cresceu a preocupação com o uso de combustíveis menos poluentes. Combustíveis fósseis como o petróleo e o carvão mineral liberam quantidades consideráveis de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), dióxido de enxofre (SO_2) e óxidos de Nitrogênio (NO_x), causando desequilíbrios na atmosfera e intensificando o efeito estufa, com consequente aquecimento global e alterações climáticas, impactando a sociobiodiversidade (Gioda, 2018).

Outras formas de geração de energia como as hidrelétricas, energia solar e energia eólica, conhecidas como energias renováveis, ganharam destaque e aplicabilidade em muitos cenários no Brasil e no mundo, ainda que, apesar destes apresentarem menor impacto em algumas situações, entretanto, ainda existem impactos severos e recorrentes com a aplicação destes, tanto em geração de gases, ameaça a sociobiodiversidade, extração mineral, geração de resíduos, mudanças no cenário hidrológico, aéreo, entre outros. A diversificação de fontes de energia é uma opção viável para mitigar a exploração de determinada área e recursos, agrega valor a investigação científica de avaliação de impactos em contexto social, econômico e ambiental, é essencial para que se tome medidas reguladoras em tomadas de decisão mais viáveis, levando em consideração a viabilidade socioeconômica e ecológica. Agregar valor de boas práticas e distribuição justa do conhecimento, serviço e economia é uma alternativa de aplicabilidade para o direcionamento em melhores resultados. Daí a relevância dessa pesquisa. O uso da biomassa florestal, especialmente em regiões como a Amazônia, pode contribuir significativamente para o desenvolvimento local sustentável, ao promover a geração de emprego e renda para comunidades tradicionais que dependem da coleta e manejo de resíduos agroextrativistas. Essa geração de valor agregado não apenas estimula a economia local, mas também promove o fortalecimento cultural e social dessas comunidades, reduzindo a pressão sobre os recursos naturais e incentivando práticas de manejo sustentável.

Estudos indicam que a casca da castanha-do-Brasil possui um potencial energético competitivo, sendo um recurso viável para geração térmica e elétrica em pequena e média escala, especialmente em usinas localizadas próximas às áreas de extração, reduzindo custos logísticos e perdas no transporte (Silva et al., 2019; Oliveira et al., 2021).

O uso da biomassa também está alinhado com os princípios da economia circular, que visa o reaproveitamento máximo dos recursos para minimizar resíduos e impactos ambientais. Nesse contexto, a casca da castanha-do-Brasil, antes considerada um resíduo sem valor econômico, passa a ser um insumo estratégico para a produção de energia renovável, contribuindo para a redução da dependência de combustíveis fósseis e para o combate às mudanças climáticas (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2019).

No cenário nacional, o Brasil destaca-se como um dos líderes mundiais na geração de energia a partir da biomassa, sobretudo com o uso de resíduos da cana-de-açúcar. A exploração de outras fontes de biomassa, como as cascas da castanha-do-Brasil, ainda é incipiente e requer investimentos em pesquisa, infraestrutura e capacitação técnica para ampliar seu potencial energético e econômico (ANEEL, 2022; MCTI, 2023).

Na Amazônia, a adoção de tecnologias limpas para aproveitamento da biomassa contribui para a mitigação da degradação ambiental decorrente de práticas inadequadas de manejo florestal e queima de resíduos, promovendo a conservação da biodiversidade e a proteção dos serviços ecossistêmicos essenciais para o equilíbrio climático regional (IBAMA, 2020; IMAZON, 2021).

Programas de incentivo à bioenergia e à valorização dos resíduos agroindustriais são fundamentais para estimular a utilização sustentável da biomassa na Amazônia. Incentivos fiscais, linhas de crédito específicas e fomento à pesquisa aplicada podem acelerar a implementação de soluções energéticas baseadas em biomassa, alinhando desenvolvimento econômico com conservação ambiental (MMA, 2022).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Observar o impacto ambiental e social da utilização da casca da castanha-do-Brasil para o uso em caldeira na Usina de Beneficiamento de Castanha e Óleo vegetal de Amaturá.

3.2 Objetivos Específicos

Compreender como ocorre as etapas do uso da casca da castanha-do-Brasil em caldeira na usina de beneficiamento.

Avaliar o impacto ambiental do uso dos resíduos da casca da castanha-do-Brasil na região de Amaturá.

Perceber como a inclusão social através do uso sustentável dos resíduos da castanha-do-Brasil como fonte de energia, contribui para fortalecer as cadeias produtivas familiares e gera melhor fonte de renda para as comunidades envolvidas.

4. HIPÓTESES

A utilização dos resíduos da biomassa da casca castanha-do-Brasil produz menor impacto ambiental de emissão de gases de efeito estufa quando comparado a fonte de energia por combustíveis fósseis.

A utilização dos resíduos da casca castanha-do-Brasil como fonte energética está gerando economia para a usina, uma vez que reaproveita os resíduos da casca da castanha-do-Brasil.

5. REFERENCIAL TEÓRICO

5.1 Resíduos no contexto da sustentabilidade amazônica

O Conceito de sustentabilidade percorre a sociedade nos tempos atuais, a busca por atividades mitigadoras se tornou algo necessário para a sociedade, o crescimento populacional, a exploração de recursos, o avanço tecnológico, avançaram a tal ponto que o meio ambiente está passando por mudanças socioecológicas, o que gera ameaça a sociobiodiversidade e aos serviços ecossistêmicos, os quais são essenciais para qualidade de vida dos seres humanos e as outras espécies. No final do século passado ocorreu uma das primeiras medidas oficiais, o qual ainda gera repercussão, sobre as necessidades da conservação dos ecossistemas e direitos de igualdade social, coordenado pela primeira-ministra da Noruega, neste se deu origem um documento no qual propagou a ideia de desenvolvimento sustentável.

O relatório aponta como preocupação as condições precárias dos países mais pobres assim como a alta taxa de consumo dos países mais ricos e que estes impedem um desenvolvimento igualitário, o qual geram crises ambientais (BRUNDTLAND, 1988). Apesar dos esforços abordados, proposto no século passado, a degradação ambiental continua fortemente no cenário atual, a economia tradicional, a centralização de poder, desigualdade social, são alguns dos valores que ainda permeiam a sociedade e que causam impactos diretos nos serviços sociais, ambientais e econômicos. Há indícios de que o meio ambiente está sob clara ameaça, entre 1950 e 2010, a população global quase triplicou de tamanho e o Produto Mundial Bruto (PMB) real cresceu sete vezes, em todo o mundo, o uso de água doce mais que triplicou, o uso de energia quadruplicou e o uso de fertilizantes mais que decuplicou (Raworth, 2019). A natureza que nos fornece um imenso arcabouço de recursos, está passando por um processo de degradação, impedindo que tenha tempo para realizar a devida manutenção para manter a sobrevivência das espécies e as necessidades qualitativas de um ecossistema em equilíbrio, o que nos gera um ambiente mais complexo de resolução, propício a uma desorganização e a colapsos na natureza e na civilização. Cerca de 60% dos ecossistemas, nos últimos 50 anos, estão em contínua degradação, incluindo a água pura, a pesca, a purificação do ar, a regulação climática local e regional, estando ainda sujeitos a ameaças naturais e epidemias (Reid et al., 2005). Estudos recentes indicam que a perda acelerada de biodiversidade está associada não apenas a atividades econômicas convencionais, mas também à expansão urbana e à poluição difusa, fatores que exigem intervenções integradas entre políticas públicas e ações comunitárias (IPBES, 2019). O Brasil possui um cenário rico em biodiversidade, considerado, entre 17 países, um território que abriga cerca de 20% de toda a diversidade biológica mundial conhecida em seu território, desta forma possui grande potencial em benefícios pelo uso sustentável destes ativos (MMA, 2010). Os serviços proporcionados pelos ecossistemas ainda não são percebidos pela maior parcela da sociedade como essenciais para a manutenção do bem-estar e da própria sobrevivência dos seres humanos na terra (Onishi, Vazzoller, Reydon, 2013).

As preocupações com as mudanças climáticas, principalmente com o aumento de dióxido de carbono (CO₂) e gás metano (CH₄), provenientes das atividades, agropecuárias, automobilísticas, uso indevido da terra, exploração de minerais e petróleo, levou a humanidade a uma conscientização de buscar mitigar o impacto gerado por essas atividades, assim como: recuperar, preservar e conservar áreas florestais, além de outras atividades que diminuam a incidência de gases poluentes na atmosfera. A necessidade de lidar com os impactos antrópicos é veemente analisado e explanado pelos pesquisadores, é condizente

dizer que entre muitas universidades acadêmicas e órgãos de pesquisa, este assunto é recorrentemente abordado, as preocupações realizadas pelas análises meteorológicas e ecológicas, indicam perturbações atmosféricas o que diz respeito ao excesso desses gases na atmosfera gerado por ações antrópicas, principalmente nas últimas décadas, o que afeta diretamente a biodiversidade da flora e da fauna, suas relações interdependentes, a qualidade da água, do ar, a regularização do efeito estufa, o que causa desequilíbrio ecossistêmico entre os seres e os biomas. Reconhecendo que as mudanças climáticas, além da poluição no ambiente terrestre e aquático, representam uma ameaça urgente e potencialmente irreversível, em alguns casos. É imprescindível a necessidade a uma percepção de novos modos de vida e inovação tecnológica interligado a uma estrutura socioecológica que minimize os impactos gerados pelo modelo antropocêntrico. Estratégias de mitigação como a economia circular e a bioeconomia são vistas como fundamentais para transformar resíduos em recursos, promovendo a conservação ambiental aliada ao desenvolvimento econômico local (Mendonça et al., 2020).

As proposições de Ignacy Sachs, cuja concepção de desenvolvimento sustentável articula, de maneira indissociável, as dimensões econômica, social e ambiental. Para Sachs (2002), o desenvolvimento deve ser simultaneamente incluyente, sustentável e sustentado, reconhecendo a necessidade de promover o crescimento econômico, mas sempre associado à equidade social e à conservação dos recursos naturais. Nesse sentido, a proposta de aproveitamento da biomassa residual da castanha-do-Brasil, transformando-a em insumo energético e fertilizante, reforça o conceito de ecodesenvolvimento formulado por Sachs ainda na década de 1980 como um modelo alternativo ao desenvolvimento convencional, orientado pelo uso racional dos recursos naturais, pelo respeito aos limites ecológicos e pela valorização dos saberes tradicionais e locais (Sachs, 1986).

A utilização das cinzas da castanha-do-Brasil no contexto produtivo e agrícola da região amazônica configura-se, portanto, como uma expressão prática do ecodesenvolvimento. Trata-se de uma estratégia que, ao mesmo tempo, promove alternativas sustentáveis de geração de renda e fortalece as comunidades locais, estimulando processos produtivos que respeitam a sociobiodiversidade e asseguram a integridade dos ecossistemas amazônicos (Sachs, 2004).

Além disso, o legado teórico e político de Ignacy Sachs mantém-se atual e profundamente relevante. Como destacam Saito, Bursztyn e Mesquita (2023), suas contribuições foram pioneiras para o campo da sustentabilidade, sendo fundamentais para a formulação de políticas públicas orientadas para modelos de desenvolvimento integrados,

participativos e territorialmente ancorados. Nesse contexto, esta pesquisa encontra respaldo nos princípios defendidos por Sachs, ao propor soluções que conciliam eficiência produtiva, justiça social e conservação ambiental, alinhando-se às diretrizes contemporâneas do desenvolvimento sustentável.

Os resíduos sólidos são produtos criados através da extração de recursos da natureza, que com o tempo se tornam inviáveis ao uso, desta maneira precisam ser descartados, o planejamento aos resíduos sólidos deve ser encarado com mais veracidade de impacto, a fim de mitigá-los a uma inserção de boas práticas ao manuseio dos recursos. A presente pesquisa fundamenta-se na concepção de racionalidade ambiental elaborada por Enrique Leff (2001), ao buscar compreender e fortalecer o aproveitamento da biomassa residual da castanha-do-Brasil como um processo que integra múltiplas dimensões: ecológica, social, econômica e cultural. Segundo Leff (2000), a sustentabilidade não se reduz a uma visão puramente técnico-instrumental, mas configura-se como uma construção social, marcada pela articulação entre os saberes tradicionais, os conhecimentos locais e as práticas científicas.

Nesse sentido, a utilização das cinzas resultantes da queima da casca da castanha como fertilizante natural representa não apenas uma solução ecológica para o manejo de resíduos, mas também uma estratégia que reconhece e valoriza os saberes empíricos das comunidades locais, promovendo a valorização da sociobiodiversidade amazônica. Trata-se, portanto, de uma prática que dialoga diretamente com a perspectiva de Leff (2010), ao conceber a sustentabilidade como um processo de reterritorialização, em que as comunidades se apropriam dos recursos naturais com base em princípios de justiça ambiental, autonomia produtiva e equilíbrio ecológico.

Assim, a proposta de aproveitamento integral da biomassa transcende a lógica econômica da eficiência produtiva, incorporando valores éticos e culturais que são fundamentais para a promoção de um desenvolvimento territorialmente enraizado e ambientalmente sustentável. Conforme Leff (2002), é precisamente nesse hibridismo entre racionalidades científica, ecológica e cultural que se constrói uma nova matriz de racionalidade ambiental, capaz de enfrentar os limites do modelo produtivista hegemônico e de promover alternativas sustentáveis ancoradas na diversidade e na complexidade socioambiental da Amazônia.

No século XVII a revolução industrial deu início a uma nova estrutura de mercado, o modelo econômico linear, com a captação de recursos para criação de inovações tecnológicas e conhecimento científico, foi estimulado uma exploração desenfreada, ignorando os impactos que estas atividades poderiam causar ao meio ambiente e a sociedade

a longo prazo (Prieto-Sandoval, 2018). A quantidade de resíduos gerados no Brasil e no mundo é enorme, muitos destes podem ter uma destinação ambientalmente adequada com direcionamento para reciclagem e reutilização, a criação destes produtos é uma questão em necessidade de análise, uma vez que a possibilidade de uma eficiente produtividade aliada a sustentabilidade é um cenário plausível. Em meados da década de 1980, a preocupação com a degradação ambiental causada pela atividade humana e a compreensão de que os ecossistemas fornecem serviços ambientais levaram ao surgimento do conceito de economia ecológica. Esse campo de estudo avalia de maneira mais ampla as interações entre ecologia e economia, considerando o impacto dos processos econômicos sobre os ecossistemas e as relações sociais. (Saes & Romeiro, 2018).

O uso de alternativas estratégicas pode mitigar impactos ambientais e agregar produção de produtos químicos de qualidade, podem minimizar o volume de materiais não renováveis que são utilizados nos tempos de hoje, o volume disponível local e global de uma heterogeneidade rica, funcional, estrutural e química de resíduos agroindustriais podem ser considerados para este propósito (Zuin & Ramin, 2018). O extrativismo e a agricultura são atividades de valor econômico para o estado do Amazonas, podendo ser aproveitado uma utilização ampla de resíduos vegetais para inovação tecnológica e mitigação de impactos ambientais. A valorização de produtos da sociobiodiversidade, como a castanha-do-Brasil, é essencial para a promoção de modelos econômicos sustentáveis e para a conservação dos ecossistemas amazônicos” (Homma, 2019, p. 112). A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) destaca a importância da gestão integrada e do aproveitamento dos resíduos para a minimização dos impactos ambientais, o que reforça a necessidade de se implementar práticas sustentáveis em contextos locais, como as comunidades amazônicas, fomentando a economia circular e a geração de empregos verdes.

5.2 A transição de energias não renováveis para soluções renováveis

Segundo o site de pesquisa autossustentável em meados de 1850 a descoberta do petróleo, proporcionou aos seres humanos a capacidade de manipulação e transformação deste componente químico em diversos avanços tecnológicos e o desenvolvimento de diversos tipos de produtos, como veículos, aeronaves, máquinas mais complexas, maximização nos processos de agricultura, pesca e mineração. Técnicas antigas, as quais hoje são consideradas energias renováveis como a energia eólica para o funcionamento de

moinhos, sistemas hidráulicos rudimentares e até mesmo modelos de energia a vapor foram deixados de lado pela inovação e capacidade da complexidade que o petróleo apresenta.

Com o avanço tecnológico e econômico aliado a falta de preocupação com os impactos ambientais, veio também o aumento na capacidade de exploração dos recursos naturais do planeta. De acordo com o site Global Footprint Newtork, desde os meados de 1970, a humanidade consome mais recursos do que o planeta consegue produzir, sendo necessário quase dois planetas inteiros para regenerar o que gastamos.

A preocupação com o uso de combustíveis fósseis se dá por motivos de escassez e limitação, não se regeneram rapidamente, o que significa que podem se esgotar, o que coloca em risco a segurança energética, ao cenário econômico e a natureza. O site de pesquisa IEA 50 apresenta dados sobre o uso dos combustíveis como fonte energética, como o petróleo, carvão e gás natural, os quais resultam na emissão exacerbada de gases de efeito estufa como o dióxido de carbono(CO_2), que é responsável por grande parte do aquecimento global devido a sua concentração elevada na atmosfera e à sua longa permanência, o metano(CH_4) que é emitido através de atividades agropecuárias, mineração de carvão, extração de petróleo e gás natural, o óxido nitroso(N_2O), geralmente associado ao uso de fertilizantes nitrogenados, além de processos industriais e tratamento de esgoto e gases fluorados, que é uma série de gases utilizados em refrigeradores, ar-condicionados, espumas isolantes e outras fontes, apesar de menor incidência em quantidade possuem potencial de aquecimento global muito alto. A dependência dos combustíveis fósseis está diretamente relacionada à instabilidade dos preços no mercado internacional, que afeta significativamente as economias de países dependentes dessas fontes. Isso reforça a urgência da transição para fontes renováveis, que oferecem maior previsibilidade e estabilidade econômica a longo prazo (Sachs, 2015).

A preocupação com a necessidade de mitigar poluentes ambientais começa a se intensificar na metade do século XX, uma vez que a publicação de livros e artigos se tornam mais abundantes em publicações no cenário acadêmico, os quais resultaram em reforma na implantação de leis, regulamentos ambientais e instrumentos fiscalizadores. No que diz respeito a poluição atmosférica, as primeiras iniciativas surgiram durante a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em Estocolmo, Suécia, em 1972. Essa conferência marcou o primeiro encontro entre diversos países e organizações não governamentais para discutir questões ambientais globais (Kraemer & Tinoco, 2004). O Protocolo de Quioto em 1997 e o Acordo de Paris em 2015 reforçaram o compromisso global

com a redução das emissões de gases de efeito estufa, estabelecendo metas claras para a transição energética e a promoção de tecnologias limpas (IPCC, 2018).

O Brasil apresenta uma vantagem em relação a possibilidades em energias renováveis, tendo como destaque o alto potencial de energia hidrelétrica, eólica, solar e biomassa, o país possui uma das melhores condições globais de incidência solar. É amplamente reconhecido por sua vasta riqueza natural, com uma das biodiversidades mais ricas do mundo, as maiores reservas de água doce do planeta e um terço das florestas tropicais terrestres (Bandeira, 2012; Pereira et al., 2000). O Brasil tem um enorme potencial energético para a inclusão em energias mais sustentáveis graças a sua abundância de recursos naturais e condições favoráveis para a geração de energias renováveis. Investir e diversificar de forma inteligente e planejada, não só reduz a dependência em combustíveis fósseis como contribui significativamente para a mitigação das mudanças climáticas. Promove a criação de empregos, impulsiona o desenvolvimento econômico e consolida o país e principalmente o estado do Amazonas como referência global em sustentabilidade. Ainda que o Brasil detenha um elevado potencial em energias renováveis, o desafio reside em garantir a expansão dessas fontes de forma sustentável e integrada, minimizando os impactos socioambientais, especialmente em regiões precárias, em condições socioeconômicas, como na Amazônia. Estudos indicam que a expansão da energia solar e eólica, aliada à modernização do setor hidrelétrico, pode representar uma matriz energética mais resiliente e menos emissora, alinhada com os compromissos internacionais de redução de gases de efeito estufa (Gomes & Silva, 2020).

6. VALOR SOCIOECONÔMICO E AMBIENTAL DOS RESÍDUOS VEGETAIS

6.1 Importância da biomassa

O site Portal da Indústria (2023) aborda sobre a importância do uso da biomassa, para redução de emissões de gases de efeito estufa, minimizando os impactos para o aquecimento global e mudanças climáticas. As fontes de energias renováveis, como a biomassa, emitem menos poluentes que as fontes de energia fósseis, o que contribui para um sistema produtivo mais limpo e eficiente. A biomassa dos resíduos vegetais pode ser transformada em biocombustível líquido como etanol e biodiesel, o qual podem ser usados em veículos e

máquinas. Os resíduos orgânicos quando submetidos a digestão anaeróbica, produzem biogás, que é uma mistura de metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), esse biogás pode ser usado e direcionado para geração de eletricidade e calor. A biomassa também pode ser utilizada para produção de materiais e produtos, os resíduos agrícolas podem ser transformados em materiais de construção, confecção para madeira ou fibras de celulose para papel, eficiência energética, além de que podem ser utilizados como alimentos para animais ou como fertilizantes orgânicos. A biomassa pode ser usada como matéria-prima para a produção de produtos químicos e plásticos verdes. A necessidade de mitigar impactos ambientais é um assunto recorrente na modernidade, a poluição ambiental é um fator crucial, o qual está sendo disseminado de forma alarmante nas últimas décadas. As indústrias vêm utilizando de recursos sintéticos e tóxicos para o meio ambiente na produção escalar de produtos e serviços, os quais poluem a natureza e afetam a qualidade de vida de todos os seres vivos. A utilização da biomassa, proveniente de resíduos vegetais para os diversos fins necessários para uma civilização em progresso é uma solução viável para a redução de gases de efeito estufa e poluição do meio ambiente. A biomassa desempenha um papel fundamental na economia circular, promovendo o reaproveitamento de resíduos que, de outra forma, seriam descartados e causariam problemas ambientais, como a contaminação do solo e das águas. A valorização dos resíduos vegetais contribui para a geração de renda em comunidades rurais, através da criação de cadeias produtivas locais, fomentando o desenvolvimento sustentável e a inclusão social (Silva et al., 2021).

O potencial energético da biomassa está associado não apenas à sua disponibilidade, mas também à sua diversidade, abrangendo resíduos agrícolas, florestais, industriais e urbanos. A conversão desses resíduos em energia e produtos de valor agregado reduz a pressão sobre os recursos naturais e contribui para a segurança energética, principalmente em regiões com baixa infraestrutura energética, como o estado do Amazonas (Lima & Andrade, 2019).

Ademais, a aplicação da biomassa no setor energético contribui para a redução dos resíduos sólidos urbanos, ajudando a mitigar problemas associados ao manejo inadequado desses resíduos, como a emissão de gases poluentes e a proliferação de vetores de doenças. Assim, a biomassa se mostra uma alternativa multifuncional que integra benefícios ambientais, sociais e econômicos (Melo et al., 2020).

6.2 Construção civil

O Programa das Nações Unidas para o meio Ambiente (PNUMA, 2011) publicou em seu relatório que aproximadamente um terço do consumo de recursos do planeta é de responsabilidade do setor de construção civil, equivalente a 12% do consumo mundial de água doce, além de gerar 40% de todos os resíduos utilizados no mundo (Rocha et al., 2013). A preocupação por um ambiente mais sustentável é reflexo de atividades antrópicas de grande impacto como o caso da construção civil, os governos, os setores privados e a população estão cada vez mais inseridos em reconhecer atividades menos poluidoras. Para mitigar impactos ao decorrer da obra é necessário ter um olhar econômico e socioecológico em todo o processo de construção, sem que afete a qualidade do estabelecimento. A escolha de materiais com certificado com baixa emissão de CO₂, atividades que gerem menos resíduos, preservar e conservar áreas florestais, eficiência no uso da água, energia e reaproveitamento dos resíduos gerados são formas estratégicas de mitigar impactos (Carvalho, 2015).

A cinza do caroço de açaí (*Euterpe oleracea*) é rica em sílica (SI), deste modo pode ser utilizada como um aditivo mineral, tendo funcionalidade parcial como cimento na produção de argamassas e concretos, o que gera economia e diminuição da extração de recursos minerais. Como a cinza do caroço de açaí possui grande quantidade de sílica (SI), através da reação com o hidróxido de cálcio obtém-se silicatos de cálcio, o que pode vir a torná-lo um elemento com propriedades cimentantes (Carvalho et al., 2018). O cultivo de cana de açúcar é uma atividade produtiva no Brasil, é um recurso agrícola natural e renovável, a partir deste obtém-se o etanol, açúcar e energia, além de outros subprodutos como torta de filtro, bagaço, levedura seca e partículas de cinza (Correa et al., 2013). Cerca de 95% do bagaço de cana-de-açúcar produzido no Brasil é processado em caldeiras e desta forma gera vapor, como resíduos resta a cinza do bagaço que é constituída, basicamente, de sílica (SI) (Correa et al., 2013). O resíduo do bagaço possui um atrativo ecológico e socioeconômico, e poder calorífico. Desta forma o torna o principal combustível na fabricação de açúcar e do álcool, este resíduo também possui outras aplicações na economia, como na alimentação animal, geração de energia, indústria de cosméticos e na engenharia civil (Sessa, 2013). O uso de resíduos agrícolas na construção civil contribui para a redução da demanda por matérias-primas convencionais, como o cimento Portland, cuja produção é altamente emissora de CO₂. A incorporação desses resíduos pode resultar em concretos e

argamassas com menor pegada ambiental e desempenho técnico adequado para diversas aplicações, promovendo a economia circular e a sustentabilidade do setor (Silva et al., 2020).

A aplicação desses materiais alternativos, além de reduzir o impacto ambiental, também pode trazer benefícios econômicos, especialmente para regiões como a Amazônia, onde os recursos naturais são abundantes, mas o acesso a materiais convencionais pode ser limitado ou oneroso. Essa prática também pode gerar emprego e renda local, fortalecendo a economia regional e incentivando práticas construtivas sustentáveis (Martins & Pereira, 2019).

Por fim, a certificação de construções sustentáveis, tem estimulado a adoção de técnicas e materiais ecologicamente corretos, incluindo o uso de biomassa residual, como forma de garantir edificações com menor impacto ambiental e maior eficiência energética, o que reforça a importância de estudos e investimentos nessa área (Ferreira et al., 2021).

6.3 Eficiência da biomassa no setor industrial

A biomassa florestal pode ser utilizada como insumo energético e existem diversas formas de explorar este cenário. Esse tema tem despertado interesse em diversos países devido ao seu potencial, proporciona oportunidade de trabalho no setor de produção de energia e criação de novas tecnologias de mercado para o desperdício de produtos agroflorestais (Santiago, 2013). Os recursos florestais possuem biomassa por suas características físico-químicas para uso em produção de energia, estes que são denominados resíduos lenhosos, são obtidos em áreas florestais, pelas atividades de cultivo e extrativismo, o aproveitamento destes resíduos podem ser também provenientes de atividades que utilizam a madeira para fins não energéticos, as indústrias podem utilizar estes resíduos para confecção de papel/celulose, moveleira e serrarias (Benedetti, Chaves, Magalhães et al., 2009). As indústrias de celulose por sua vez acabam gerando um grande volume de resíduos ao longo do processo produtivo. O setor madeireiro tem potencial e possui uma grande oportunidade no reaproveitamento destes resíduos, a perdas são consequências neste setor produtivo, o que representa cerca de 40 a 70% do volume da matéria-prima (Boundelle, Chies, & Martins, 2002). Estes resíduos que são provenientes de resíduos vegetais como cascas, galhos, folhas, cavacos, lascas de madeira, por muito tempo não tiveram uma destinação ambientalmente adequada para este sentido (Foelkel, 2016). Além do reaproveitamento para fins energéticos, a utilização da biomassa lenhosa contribui para a

redução da pressão sobre florestas naturais, uma vez que possibilita o uso eficiente de resíduos da própria indústria, minimizando a necessidade de exploração de novas áreas florestais (Silva et al., 2018). A valorização de eficiência energética desses resíduos evita o descarte inadequado que pode causar poluição do solo e da água, além de emitir gases de efeito estufa pela decomposição natural (Martins & Sousa, 2020). O uso da biomassa também está relacionado à diversificação da matriz energética industrial, conferindo maior segurança energética e redução de custos operacionais a longo prazo (Oliveira, 2017). Tecnologias modernas, como a gaseificação da biomassa, têm sido desenvolvidas para aumentar a eficiência energética e reduzir emissões, tornando a biomassa uma alternativa competitiva frente aos combustíveis fósseis (Carvalho & Pereira, 2019).

6.3.1 Caldeira

A caldeira para biomassa vegetal é um equipamento projetado para realizar a troca de calor. Ela converte a energia contida em materiais orgânicos, como resíduos de plantas e madeira, em calor, resultando na produção de vapor ou outro fluido aquecido. As caldeiras, ao realizar a queima do material orgânico produzem vapor para alimentar as máquinas térmicas, para melhorar o rendimento da biomassa, estes são submetidos primeiramente em autoclave, que são equipamentos projetados para esterilização utilizando vapor, o estado de conservação e segurança do equipamento de Caldeira é essencial para que se tenha eficiência no rendimento energético e evitar qualquer tipo de acidente (Cordova, 2018).

O controle rigoroso da combustão e da manutenção preventiva das caldeiras é fundamental para otimizar a eficiência energética e reduzir emissões atmosféricas nocivas, como partículas e gases tóxicos, contribuindo para a sustentabilidade ambiental do processo (Ferreira et al., 2021). O desenvolvimento de tecnologias avançadas, como caldeiras de alta pressão e sistemas de recuperação de calor residual, tem potencial para aumentar significativamente a eficiência térmica desses equipamentos, promovendo maior aproveitamento energético dos resíduos vegetais (Santos & Oliveira, 2019).

Uma aplicação viável das cinzas geradas no processo de conversão é na recuperação de solos degradados, apesar de que geralmente as cinzas estão pobres em nutrientes, ainda podem ser utilizados como medidas reguladoras no solo. Esta prática representa uma oportunidade para transformar esse resíduo de um passivo ambiental em um benefício para o solo. (Silveira, 2010). As cinzas, dependendo da sua composição química, podem atuar

como corretivos de acidez do solo, melhorando a disponibilidade de nutrientes para as plantas e contribuindo para a recuperação da fertilidade de áreas degradadas, conforme destacado em estudos de agricultura sustentável (Lopes et al., 2017). Utilizar cinzas na agricultura é uma prática ecológica e econômica, pois aproveita material orgânico para um propósito social e sustentável.

6.4 Adubação orgânica

A adubação orgânica é uma técnica utilizada a longo tempo pelas primeiras formas de cultivo com a intenção de buscar melhoria da qualidade do solo e melhoria da produtividade vegetal, ao passar dos séculos a ciência percebeu que o uso de fertilizantes minerais também aumentava significativamente a qualidade desta produção. Resíduos vegetais como fibra de coco (Nogueira et al., 2012), esterco bovino (Higashikawa et al., 2010), biossólido e casca de pinus (Kratz et al., 2013), resíduo de açaí (Maranho; Paiva, 2012), casca de Amendoim (Leão et al, 2013), bagaço de cana (Dutra et al., 2012), entre outros resíduos que são considerados favoráveis para compor substratos para produção de mudas. Mesmo que muitos resíduos possuam características físicas e químicas nutritivas a qualidade do solo, é necessário um balanceamento adequado para que se chegue a uma qualidade de substrato ideal (Negreiros et al., 2004). A adubação orgânica promove a melhoria da estrutura do solo, aumentando sua capacidade de retenção de água e a atividade biológica, o que contribui para o desenvolvimento saudável das plantas. O uso de resíduos vegetais na adubação ajuda a reciclar nutrientes essenciais, reduzindo a necessidade do uso de fertilizantes químicos, que podem causar impactos ambientais negativos, como a contaminação de corpos d'água. Pesquisas indicam que a aplicação contínua de compostos orgânicos melhora a fertilidade do solo a longo prazo, além de favorecer a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Silva et al., 2017).

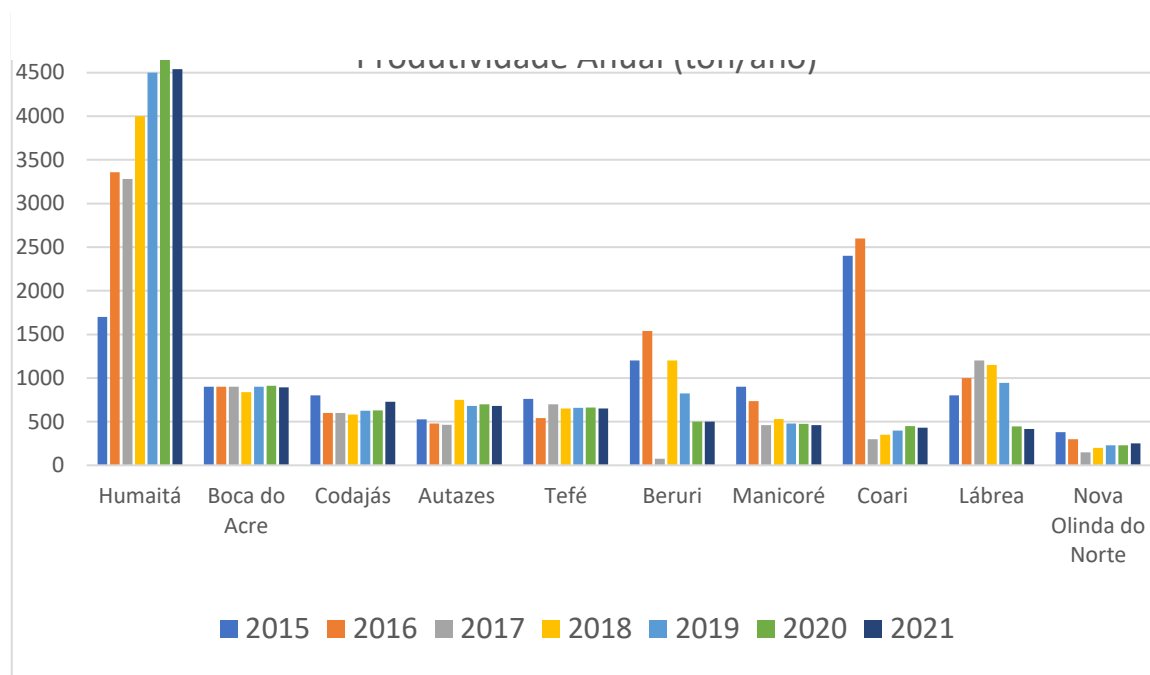
7. A CASTANHA DO BRASIL

A castanha-do-Brasil é também conhecida pelos nomes populares de castanha-do-Pará e castanha-da-Amazônia. A amêndoa é um alimento rico em proteínas, lipídios, proteínas e vitaminas, este alimento pode ser consumido in natura ou também usado para extração do extrato hidrossolúvel, o qual é conhecido como leite da castanha. Há também a

extração do óleo que possui valor cultural na culinária regional e na indústria de cosméticos, dos resíduos deste processo da extração do óleo, obtém-se farelo, estes que podem ser usados em farinhas e rações (EMBRAPA, 2023). Para a comercialização da castanha-do-Brasil há normas sanitárias nacionais e internacionais que regularizam medidas de qualidade para a distribuição deste, uma vez que existe o risco por contaminação de toxinas produzidas a partir do metabolismo de fungos filamentosos que podem comprometer a qualidade da castanha-do-Brasil (EMBRAPA, 2023). A importância do conhecimento de boas práticas para obter melhor qualidade de manejo, desde do extrativismo até o consumidor é uma questão que deve ser considerada em todo o processo logístico, a devida infraestrutura em equipamento e manuseio, auxílio a estas boas práticas de manejo por parte dos fornecedores, assim como remuneração adequada para os agroextrativistas podem ser consideradas como prioridade, uma vez que a redução de danos e contaminantes se dá nesta atividade inicial da extração, manuseio, deslocamento, armazenamento e distribuição das sementes com a casca (Peraica et al, 2016; Sacramento, 2016; Rotimi et al., 2017; Coppock et al., 2018; Ismail et al., 2018).

O valor da castanha-do-Brasil é consideravelmente significativo no âmbito, social, econômico e ambiental, as sementes são, o segundo produto extrativista, não madeireiro, em importância econômica na Amazônia Brasileira e o primeiro da região do Oeste do Pará (IDESP, 2011). O Amazonas, segundo o IBGE, foi o maior produtor de castanhas-do-Brasil no ano de 2020, com uma produção aproximada de 11.707 toneladas, o equivalente a 35,3% do total produzido no País. A quantidade de matéria orgânica é relevante no estado do Amazonas, visto que estes subprodutos possuem valor agregado para reutilização em diversas funcionalidades é necessário que os governos, instituições, empresas, órgãos não governamentais e população se mobilizem em prol de uma logística aplicada ao aproveitamento dos resíduos gerados. A seguir, apresenta-se um levantamento de dados em forma de gráfico, analisados pelo site do IBGE, da produtividade anual de castanha-do-Brasil.

Gráfico 1. Produtividade de castanhas-do-Brasil nos municípios do Amazonas



Fonte: Soares, L. 2024, coleta de dados pelo site do IBGE

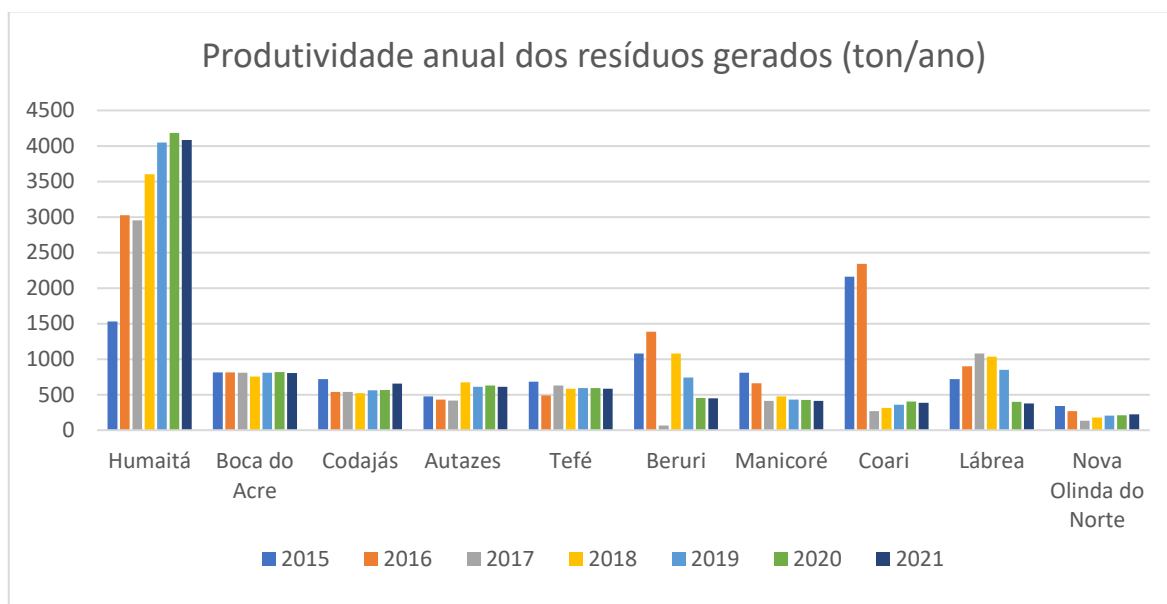
Este levantamento de dados representa a produtividade anual de castanha entre os anos de 2015 à 2021, dos municípios que apresentaram maior produção da castanha em 2021. Podemos analisar uma projeção da produtividade, nos municípios, em uma escala temporal, percebe-se que o município de Humaitá apresenta o melhor aproveitamento de produção, sendo que desde 2018 apresenta uma faixa de produção significativa acima de 4000 toneladas por ano, o município de Autazes também aumentou sua produtividade, desde 2018, mantendo-se na faixa entre 680 e 750 toneladas de produtividade por ano. No caso de Beruri, Manicoré, Coari e Lábrea houve um decréscimo significativo na produtividade da castanha, enquanto os outros municípios tiveram uma variação de baixa constância.

7.1 Resíduos da castanha-do-Brasil

A geração de resíduos, provenientes da castanha é significativa, o fruto está no interior do pericarpo (ouriço) e do descarte do mesocarpo (casca), além do descarte de amêndoas quebradas que não se enquadram no padrão de comercialização de amêndoas (Santos, 2014). A inserção destes resíduos de forma assertiva, com apoio, em conjunto da população e dos órgãos interessados pode gerar mais economia a sociedade, usando-se da criatividade humana, ciência e com as condições quanti-qualitativas dos resíduos da castanha-do-Brasil é possível criar um cenário socioecológico e econômico, uma vez que o material orgânico

reutilizado, corrobora com mitigação de impactos ambientais, em diversos setores da área industrial.

Gráfico 2. Resíduos gerados pela produtividade da castanha-do-Brasil nos municípios do Amazonas



Fonte: Soares, L. 2024, coleta de dados pelo site do IBGE

Neste caso o gráfico representa um levantamento de dados apenas dos resíduos secundários, de acordo com Oliveira e Lobo (2002), o fruto (ouriço) da castanha-do-Brasil tem, em geral 2,4kg, no qual aproximadamente 1/3 de seu peso é constituído pelas sementes. Logo, para cada semente coletada, tem-se, em média, 1,6kg de resíduos, que podem ser aproveitados. Uma das formas de agregar valor econômico a estes resíduos é a utilização destes na produção de materiais alternativos. De forma geral, apenas a amêndoa é aproveitada, tornando o resto do fruto, cerca de 90% como resíduos (Souza & Silva, 2021). Os resíduos gerados apresentam a produtividade da castanha-do-Brasil entre os anos de 2015 à 2021, entre os municípios que apresentaram maior produção da castanha em 2021. Assim como na figura 1 o município de Humaitá representa maior quantidade de resíduos gerados em aumento de produtividade ao decorrer dos anos, enquanto Boca do Acre, Codajás, Autazes, Tefé e Nova Olinda do Norte, representam mais constância.

7.1.1 Ouriço

Podemos citar o valor nutritivo do ouriço para as plantas, na agroecologia e na reutilização em diversas produções, desde materiais de construção, produtos artesanais, eficiência energética, confecção de pisos e artesanatos, painéis de madeira, podendo ser utilizados como carvão ativado e como combustível, quando aquecidos em fornalhas ou caldeiras (Anjos et al., 2017; Nogueira, Lahr, Giacon, 2018; Souza, Silva, 2021; EMBRAPA, 2023). O ouriço não só é aproveitado principalmente na produção de artigos domésticos, saboneteiras, copos, vasos e até instrumentos musicais, mas também como combustível na queima (Almeida, 2015).

A crescente produtividade, com o aumento do descarte dos resíduos no extrativismo da castanha, representa um fator agravante ao setor, pode ocorrer que os resíduos, se não tratados corretamente, se tornem propensos à contaminação ambiental. Todavia, aplicação de técnicas de secagem, armazenagem e utilizações dos resíduos exigem recursos econômicos, que podem representar um entrave para sua aplicação (Vasconcelos, 2012). É viável a compreensão da utilização de resíduos orgânicos na cadeia produtiva, no caso, os resíduos da castanha-do-Brasil, possuem quantidade produtiva significativa no estado do Amazonas, que são descartados ou simplesmente não considerados como valor produtivo, os resíduos desta biomassa, apesar de serem biodegradáveis, necessitam de um tempo relevante para serem degradados, o que permite a reutilização na área industrial. A importância de atribuir valor econômico e ecológico a biomassa da casca da castanha-do-brasil reforça a preservação da espécie, com a proteção da espécie e o manejo adequado não só a semente mais como também aos resíduos gerados proporciona possibilidades estratégicas de implementar os resíduos da castanha-do-Brasil na cadeia produtiva, tal atividade pode gerar oportunidades de emprego, economia e busca de qualidade de vida digna para a população dessas comunidades.

7.1.2 Amêndoa

As amêndoas da castanha-do-Brasil apresentam predominância lipídica, entre cerca de 60 a 70%, 15 a 20% de proteínas, vitamina E, enxofre e propriedades antioxidantes (Martins et al., 2012). É fonte de nutrientes, como selênio, fitoesteróis, tocoferóis, esqualeno e compostos fenólicos, essas características compõem a potenciais benéficos a saúde, além disso a organização FDA, declara que em parâmetros saudáveis, sem considerações

científicas, que comer 1,5 de noz de macadâmia por dia, como parte de uma dieta pobre em gordura saturada e colesterol pode reduzir o risco de doenças cardíacas (FDA, 2008), o que salienta os benefícios do consumo de nozes, de forma geral para a saúde. A extração oleaginosa deste produto é o principal foco da exploração industrial principalmente pelas suas características qualitativas e quantitativas (Santos, 2012). Pela técnica de prensagem da amêndoa pode ser obtido o óleo e o leite da castanha, os quais ambos podem ser usados em culinária (Peres & Baider, 2009). O óleo possui em suas características 13,8% de ácido palmítico, 8,7% de ácido esteárico, 31,4% de ácido oleico e 45,2% de ácido linoleico, além de quantidade em medidas menores de ácido mirístico e palmitoléico (Freitas et al, 2007).

7.1.3 Casca

A casca é um ótimo substrato a ser utilizado na agricultura, ela possui compostos nutricionais que são benéficos para o desenvolvimento da planta, estes que são os macronutrientes e os micronutrientes. Os macronutrientes encontrados na casca são: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), já nos micronutrientes foram encontrados: boro(B), cobre (Cu), manganês (Mn) e zinco (Zn), está presença de nutrientes auxilia nos processos metabólicos das plantas como respiração e divisão celular (Soares, et al., 2014; Bouvie et al., 2016). Por suas características é possível fazer um material fibroso que é utilizado como estopa de calefação (Kitamura & Muller, 1984). A casca também possui propriedades para aplicação em eficiência energética, o uso da biomassa da castanha-do-Brasil possui grande relevância, devido a intensa atividade agroextrativista a quantidade de resíduos gerados de casca é alta. Para resolver o problema do desperdício de biomassa gerado, muitos estudos têm avaliado a possibilidade de aplicação destes resíduos como fonte de energia renovável (Couto et al., 2004; Marafon et al., 2016; Scatolino et al., 2018).

7.1.4 Potencial energético da biomassa

A utilização da biomassa como fonte de energia apresenta vantagens significativas em comparação com outras fontes. A biomassa é amplamente disponível e possui uma composição química heterogênea, que varia conforme a espécie vegetal e o método de cultivo. Biomassas como cascas, caroços e outros resíduos possuem baixo valor econômico e frequentemente são descartadas de maneira inadequada, resultando em passivos ambientais. As propriedades físico-químicas são essenciais para atribuir eficiência

energética do material orgânico: densidade, umidade, composição química, são algumas propriedades que vão influenciar na eficiência da conversão em energia térmica. É preferível obter baixos teores de cinzas para garantir maior eficiência no processo de conversão termoquímica (Fernandes, 2021).

7.2 O bioma amazônico: resíduos e eficiência energética

No Brasil, alguns municípios baseiam sua economia na agricultura, na fruticultura e no extrativismo. No estado do Amazonas, frutas como cupuaçu, açaí, patoá e sementes como castanha-do-Brasil são responsáveis na geração de renda para muitas comunidades, no entanto, um grande volume de resíduos é desperdiçado ou mal aproveitado. Resíduos de origem vegetal podem ser aproveitados de diversas formas, por exemplo, com a produção de energia na utilização da biomassa, o que pode gerar energia com menor incidência de gases dispersos na atmosfera. Essa geração de energia é de extrema importância para os municípios amazônicos com sistemas elétricos isolados da rede nacional, nestes lugares a maioria das usinas termelétricas são abastecidas a óleo diesel (Souza & Trindade, 2015), sem energias renováveis.

Técnicas que garantem uma eficiência no sistema de geração de energia através do vapor se tornaram um grande desafio para as indústrias brasileiras. Visando aprimorar a eficiência energética, isto é, ampliar a geração de vapor e diminuir o consumo de combustível nas caldeiras, estão sendo empregadas técnicas de análise da qualidade do material orgânico. O intuito é otimizar o uso dos materiais a serem queimados, resultando em uma maior precisão na medição da energia produzida pela caldeira (Andrade, 2014).

8. IMPULSIONADORES DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O desenvolvimento sustentável está intrinsecamente ligado à capacidade das comunidades de gerir de forma eficiente seus recursos naturais, promovendo a valorização econômica, a justiça social e a preservação ambiental. No contexto da Amazônia, onde a sociobiodiversidade representa uma das maiores riquezas, iniciativas que envolvem o aproveitamento de resíduos agroextrativistas, como a casca da castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*), emergem como importantes impulsionadores do desenvolvimento sustentável. A experiência da Usina de Beneficiamento de Castanha e Óleo Vegetal de Amaturá-AM revela um exemplo concreto dessa dinâmica.

Este capítulo analisa, a partir dos dados coletados, como o uso da casca da castanha e a organização produtiva local impulsionam o desenvolvimento sustentável, promovendo impactos positivos em três dimensões: ambiental, social e econômica.

8.1 Impulsionadores ambientais

O reaproveitamento da casca da castanha como combustível na caldeira da usina configura-se como um relevante impulsionador ambiental, alinhado aos princípios da economia circular e da gestão sustentável de resíduos. O processo evita o acúmulo e o descarte inadequado de resíduos sólidos, promovendo a autossuficiência energética na etapa de secagem da castanha. A economia circular busca manter os recursos em uso pelo maior tempo possível, extraindo seu máximo valor e reduzindo a geração de resíduos, sendo especialmente relevante na cadeia produtiva da castanha-do-Brasil” (Kirchher et al., 2017, p. 224).

Além disso, a doação das cinzas resultantes da queima da casca para moradores locais, que as utilizam como adubo natural na produção de hortaliças, representa uma forma de valorização de subprodutos e de incentivo a práticas agrícolas sustentáveis, reduzindo a dependência de fertilizantes químicos.

Este modelo reduz significativamente o impacto ambiental da atividade produtiva, transformando potenciais passivos ambientais em ativos produtivos, consolidando-se como uma prática exemplar de gestão ambiental sustentável.

8.2 Impulsionadores sociais

A cadeia produtiva da castanha em Amaturá constitui um forte impulsionador social, promovendo a inclusão de diversas comunidades ribeirinhas e indígenas que participam da coleta e venda da castanha. São aproximadamente 400 famílias envolvidas, distribuídas em 24 localidades e na sede do município, que encontram na atividade uma importante fonte de geração de renda.

Outro aspecto relevante é a valorização do trabalho feminino: durante o período de safra, cerca de 70% dos colaboradores são mulheres, em sua maioria associadas ou filhas de associados, com idades entre 18 a 30 anos. Essa participação fortalece a economia local, promove a autonomia financeira de mulheres e jovens, e contribui para a manutenção das práticas tradicionais e do conhecimento associado ao manejo do recurso. A bioeconomia na

Amazônia promove o uso sustentável da biodiversidade, integrando cadeias produtivas de base extrativista, agregando valor e gerando benefícios sociais e ambientais” (Nobre & Nobre, 2020, p. 15).

Apesar da ausência de certificações e do apoio governamental, a organização comunitária, por meio da APROCAM e da COBEPAM, estrutura-se como um impulsionador da coesão social e do fortalecimento da economia solidária, fundamentais para o desenvolvimento sustentável. As cooperativas e associações de produtores rurais desempenham papel fundamental na promoção da inclusão social, geração de renda e desenvolvimento sustentável de comunidades tradicionais” (Schneider, 2016, p. 47).

8.3 Impulsionadores socioeconômicos

Do ponto de vista econômico, a utilização dos resíduos da castanha como insumo energético para a caldeira representa uma significativa redução de custos operacionais no processo de secagem, ao mesmo tempo em que evita gastos com a destinação de resíduos.

Ainda que não haja geração de energia elétrica suficiente para abastecer a comunidade local, o uso da casca contribui para a autonomia energética parcial da usina, garantindo a continuidade das atividades produtivas mesmo com recursos financeiros limitados, já que a associação e a cooperativa não recebem apoio governamental ou financeiro há mais de cinco anos.

Além disso, a possibilidade de qualquer pessoa, mesmo que não associada, vender castanha para a APROCAM estimula a dinamização econômica e promove a circulação de renda em diversas localidades do município.

O trabalho com os resíduos também cria oportunidades de renda adicional para os colaboradores que atuam no manuseio da caldeira, mesmo que essa função demande esforços adicionais e encareça levemente a produção, conforme apontado pelo questionário.

8.4 Desafios e Potencialidades

Apesar dos avanços, alguns desafios persistem, como a ausência de certificações que poderiam agregar valor à produção, ampliar mercados e fortalecer o posicionamento da usina como referência em práticas sustentáveis. A ausência de políticas públicas de apoio e de incentivos financeiros limita o potencial de expansão e aprimoramento das práticas.

Contudo, a disposição manifestada pela APROCAM e pela COBEPAM em buscar certificações demonstra uma importante vontade institucional de evolução, que pode atuar como um impulsionador estratégico para o fortalecimento da cadeia produtiva e para a ampliação dos benefícios socioambientais.

9. METODOLOGIA

9.1 Introdução da Metodologia

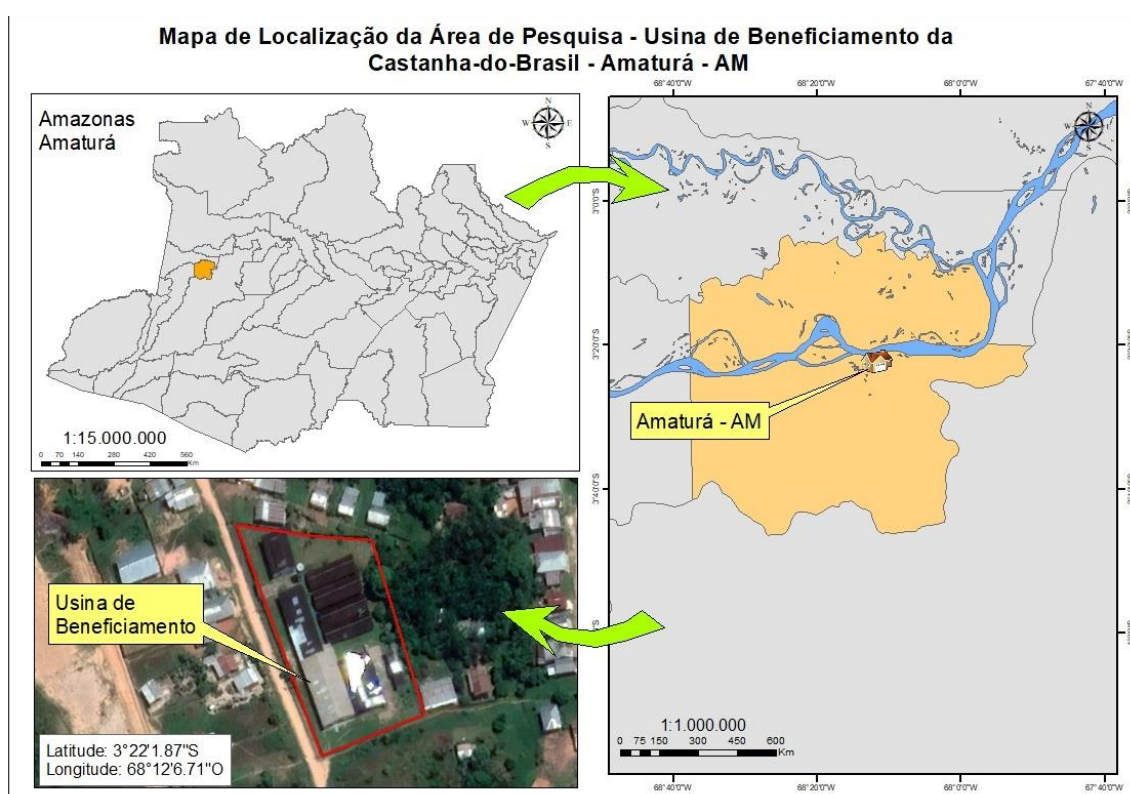
A metodologia adotada para esta pesquisa visa compreender de forma detalhada o processo de aproveitamento da casca da castanha-do-Brasil na Usina de Beneficiamento de Amaturá, localizada no estado do Amazonas, bem como os aspectos sociais, ambientais relacionados a essa prática. Para isso, foi observado a área de estudo, da logística do manejo e o beneficiamento da castanha-do-Brasil, com foco na utilização da casca da castanha-do-Brasil no processo de geração de energia. Inicialmente, foi realizada uma caracterização da área de estudo, contemplando o aspecto geográfico, logística e operacionais, sobre as comunidades fornecedoras da castanha e do funcionamento da usina. Em seguida, foi elaborada uma análise dos processos técnicos de beneficiamento e do aproveitamento energético dos resíduos, enfatizando as etapas que compõem a cadeia produtiva. Por fim, foram coletados dados primários com dados que foram obtidos de referências públicas da unidade de benefício da Castanha de Amaturá, visando identificar o perfil de utilização econômica dos resíduos, os impactos ambientais e sociais percebidos e as possibilidades de melhoria no processo produtivo. Esta abordagem metodológica permite uma análise sistêmica do tema, integrando aspectos técnicos, ambientais e sociais.

9.2 Área de estudo

O município de Amaturá está localizado no interior do estado do Amazonas, integrando a 1ª Sub-região, correspondente à Região do Alto Solimões. Seu território possui uma área de aproximadamente 4.754 km². Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), a população estimada era de 10.819 habitantes. A

distância entre Manaus e Amaturá, por via fluvial, é de aproximadamente 1.251 km. (IDAM, 2025)

Figura 1. Localização em mapa do município de Amaturá – Amazonas.



Fonte: Soares, L.,2024

As castanhas com cascas provenientes das comunidades chegam ao município de outras comunidades. São 4 comunidades indígenas: Canimaru, Bom Pastor, Nova Itália, São Francisco do Canimari. Entre mais 20 Comunidades ribeirinhas: São Sebastião, Niterói, Umarirana, Nossa Senhora do Perpétuo Socorro, Igarapé do Morcego, São José e Novo São José, Porto Caldas, São Domingos, Nova Alegria, Deus Proverá, Porto Gama, Sítio Taperebá, Sítio Eureka III, Sítio Santarém, Vila Tambaqui, Sítio Gostoso, Paraná do Cabeça Preta, Mirafior, Vargem Grande, Vila Benevide.

Após a captação, o beneficiamento da castanha é realizado na Usina de Beneficiamento de Castanha e Óleo Vegetal de Amaturá, gerida pela Associação dos Produtores de Castanha de Amaturá (APROCAM) e pela Cooperativa dos Beneficiadores de Produtos Agroextrativistas do Amazonas (COBEPAM). O processo inclui etapas

fundamentais para garantir a qualidade do produto, tais como a triagem, a lavagem, a secagem ao sol e o armazenamento adequado, geralmente com a castanha ainda na casca.

Um dos aspectos mais relevantes desse beneficiamento é o aproveitamento integral dos resíduos. A casca da castanha, que anteriormente poderia ser descartada como resíduo, é hoje utilizada como biocombustível na caldeira da usina, sendo fundamental no processo de secagem do produto em estufas. Esse aproveitamento agrega valor à cadeia produtiva, ao mesmo tempo que reduz o passivo ambiental.

Figura 2. Usina de Beneficiamento de Castanha e Óleo vegetal



Fonte: APROCAM – fábrica de castanha em Amaturá

As cinzas resultantes da queima da casca são doadas para agricultores locais, que as utilizam como fertilizante natural no cultivo de hortaliças, promovendo práticas sustentáveis e fortalecendo a agricultura familiar na região.

Portanto, o modelo de beneficiamento adotado em Amaturá destaca-se não apenas pela geração de renda para centenas de famílias, mas também pela incorporação de práticas que impulsionam o desenvolvimento sustentável, com a valorização dos recursos naturais, a redução de resíduos e o fortalecimento da economia local.

Figura 3. Autoclave



Fonte: Rubem, E.,2024.

Antes de serem submetidas ao processo de secagem na caldeira, as castanhas-do-Brasil passam por uma etapa essencial na câmara da autoclave. Nesta fase, as amêndoas são autoclavadas, ou seja, são expostas a condições controladas de pressão e temperatura elevadas dentro da autoclave.

Esse procedimento tem como principal objetivo facilitar a separação da casca da amêndoa, promovendo o amolecimento da estrutura externa. A alta pressão e temperatura atuam rompendo as ligações entre a casca e a amêndoa, o que torna o processo de descascamento posterior mais eficiente e menos danoso ao produto.

Além disso, a autoclavagem contribui para a higienização das castanhas, reduzindo a presença de micro-organismos e aumentando a qualidade e segurança do alimento final.

Esse processo é fundamental para garantir um beneficiamento de melhor qualidade, mantendo a integridade das amêndoas e facilitando as etapas subsequentes do processamento, como a secagem e o beneficiamento final para comercialização.

Figura 4. Caldeira



Fonte: Rubem, E., 2024.

A caldeira utilizada na usina de beneficiamento da castanha-do-Brasil em Amaturá apresenta uma configuração típica em que o fogo é confinado no interior das tubulações. As cascas são colocadas manualmente na câmara de combustão, onde ocorre a queima da casca da Castanha, a porta perfurada permite a entrada de ar para melhorar a combustão. Nesse sistema, os resíduos gerados pela queima da casca da castanha, compostos por fumaça e gases quentes, percorrem o interior dessas tubulações, transmitindo calor às suas paredes.

Esse calor, por sua vez, é transferido para a água que circula externamente aos tubos, promovendo seu aquecimento até a geração de vapor. O vapor produzido é um elemento fundamental para a operação da usina, pois é utilizado exclusivamente no processo de secagem da castanha na estufa.

Esse método de aproveitamento térmico dos resíduos promove uma importante economia de energia, reduzindo a necessidade de fontes externas e contribuindo para a sustentabilidade do processo produtivo. Além disso, ao utilizar a casca da castanha, um resíduo gerado na própria produção, como combustível, a usina reduz a geração de resíduos sólidos e sua possível deposição inadequada no meio ambiente.

Porém, apesar da geração de energia térmica para secagem, não há produção de energia elétrica para consumo local, o que indica um potencial para melhorias tecnológicas futuras que possam ampliar a eficiência energética e os benefícios econômicos para a Usina e comunidade.

Em síntese, a caldeira representa um componente estratégico no ciclo produtivo da usina, integrando práticas de economia circular e manejo sustentável dos resíduos, aspectos fundamentais para o desenvolvimento sustentável da região.

Figura 5. Estufa



Fonte: Rubem, E.,2024.

A energia gerada a partir da biomassa da castanha-do-Brasil, obtida pela queima dos resíduos em caldeiras, é empregada de maneira eficiente no processo de secagem em estufa. Esses resíduos, compostos principalmente pelas cascas descartadas durante o beneficiamento, são convertidos em calor dentro das caldeiras. O calor produzido é então transferido para a estufa, onde é utilizado para a secagem da castanha, promovendo um processamento sustentável e econômico.

Esse aproveitamento dos resíduos não apenas reduz o desperdício, como também representa uma importante fonte de energia renovável, diminuindo a dependência de fontes fósseis e, conseqüentemente, as emissões de gases de efeito estufa associadas. Dessa forma, o uso da biomassa da castanha-do-Brasil contribui significativamente para a sustentabilidade ambiental da cadeia produtiva, alinhando-se às práticas de desenvolvimento sustentável e valorização dos recursos locais.

10. RESULTADOS E DISCUSSÃO

10.1 Usina e comunidades envolvidas

A pesquisa foi desenvolvida a partir da coleta de informações sobre a usina de beneficiamento localizada no município de Amaturá-AM, com o objetivo de avaliar os impactos ambientais e sociais relacionados ao uso da casca da castanha-do-Brasil

(*Bertholletia excelsa*). A castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*) é um dos principais produtos extrativistas da região amazônica, especialmente para comunidades do estado do Amazonas.

O processamento da castanha gera um resíduo significativo: a casca e o ouriço, que tradicionalmente pode ser descartada de forma inadequada ou usados como lenha, além de outros costumes como artesanato, material para bijoias, entre outros causando impactos ambientais locais, sejam estes positivos ou negativos. Nos últimos anos, o uso sustentável dessa casca como biomassa para geração de energia tem sido uma alternativa promissora para a redução dos impactos ambientais e para a inclusão social de produtores familiares (Leite, 2021; Dias, 2011).

A Usina de Beneficiamento de Castanha e Óleo Vegetal de Amaturá, localizada no município de Amaturá, estado do Amazonas, desempenha um papel estratégico no contexto da bioeconomia regional. O empreendimento é gerido pela Associação dos Produtores de Castanha de Amaturá (APROCAM) e pela Cooperativa dos Beneficiadores de Produtos Agroextrativistas do Amazonas (COBEPAM), entidades formadas, respectivamente, por 85 associados e 29 cooperados.

Apesar da APROCAM contar com uma lista nominal de 192 associados, foi identificado que apenas 85 estão efetivamente em atividade, o que sugere a existência de desafios de adesão e permanência nas atividades extrativistas locais. A cadeia produtiva da castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*) vinculada à usina abrange cerca de 400 famílias, distribuídas entre a sede municipal e 24 comunidades indígenas e ribeirinhas da região. Entre as principais localidades fornecedoras destacam-se as comunidades indígenas Canimaru, Bom Pastor, Nova Itália e São Francisco do Canimari, bem como as comunidades ribeirinhas de São Sebastião, Umarirana, Igarapé do Morcego, Nova Alegria, entre outras. Essa ampla abrangência territorial evidencia a relevância sociocultural e socioeconômica do beneficiamento e do uso sustentável dos resíduos gerados (IPEA, 2020).

O município de Amaturá, localizado no estado do Amazonas, possui características territoriais e sociais que o colocam em posição estratégica para o recebimento, beneficiamento e agregação de valor à castanha-do-Brasil. Sua proximidade com as comunidades indígenas e ribeirinhas que manejam o extrativismo do fruto, além da estrutura da Usina, já em funcionamento, torna o município um elo fundamental na cadeia extrativista da castanha, consolidando-se como um centro de integração entre os saberes tradicionais, o desenvolvimento local e a valorização de produtos da sociobiodiversidade amazônica.

A estrutura já existente de beneficiamento no município, somada ao conhecimento acumulado pelas populações locais, permite não apenas o processamento da amêndoa da castanha, mas também o aproveitamento dos resíduos da casca, transformando-os em fontes alternativas de energia e posteriormente o uso das cinzas para adubo orgânico. A utilização das cascas como biomassa, representa uma estratégia eficiente e sustentável de geração de energia térmica para a própria usina, reduzindo custos operacionais, mitigando impactos ambientais e promovendo economia circular. Além disso, ao receber e processar a castanha-do-Brasil, Amaturá contribui diretamente para a valorização da espécie e do produto em si, promovendo inclusão social e fortalecendo a possibilidade de renda aos extrativistas, atravessadores e demais agentes envolvidos na cadeia produtiva. O município, assim, se posiciona como referência em práticas sustentáveis e em gestão territorial voltada para a conservação dos recursos naturais e o desenvolvimento econômico de base comunitária.

A descentralização da produção e o caráter comunitário da cadeia de fornecimento reforçam a necessidade de estratégias integradas de desenvolvimento sustentável. Como salientado por Menezes et al. (2021), o extrativismo da castanha na Amazônia é historicamente marcado por uma interdependência entre os modos de vida tradicionais e as exigências do mercado, o que requer políticas públicas e modelos de gestão que valorizem a sociobiodiversidade e promovam a justiça socioambiental. Investir em infraestrutura, qualificação técnica e políticas públicas voltadas para a cadeia da castanha em Amaturá é uma oportunidade concreta de impulsionar a bioeconomia amazônica, garantindo que o potencial produtivo da região seja explorado com responsabilidade, eficiência e respeito às tradições locais.

10.2 Uso da casca da castanha-do-Brasil na Caldeira

O aproveitamento energético dos resíduos da castanha, as cascas, representa uma alternativa viável e ambientalmente adequada para suprir parte das necessidades térmicas da usina. A castanha-do-Brasil é utilizada como biocombustível na caldeira da usina, substituindo, em parte, fontes fósseis e reduzindo os custos operacionais. As etapas envolvidas no processo, que se iniciam com a separação manual da casca, seguida da secagem natural ao sol e posterior armazenamento em local adequado.

O material seco é então encaminhado à caldeira, onde é queimado para geração de calor necessário às etapas de beneficiamento da amêndoa. O processamento da castanha gera

uma média de 400 kg de produto por dia, podendo alcançar 800 kg na safra e recuar para cerca de 300 a 400 kg na entressafra (Silva et al., 2020).

A casca resultante desse beneficiamento é utilizada como biomassa na caldeira da usina, cuja função principal é a secagem do produto nas estufas. Essa prática contribui para o aproveitamento integral do fruto, evitando o acúmulo de resíduos e promovendo a economia circular. Em estudos semelhantes, como o de Silva et al. (2021), observou-se que o uso da biomassa florestal residual em caldeiras pode reduzir em até 30% o consumo de lenha tradicional em comunidades amazônicas.

10.2.1 Etapas envolvidas no uso da biomassa

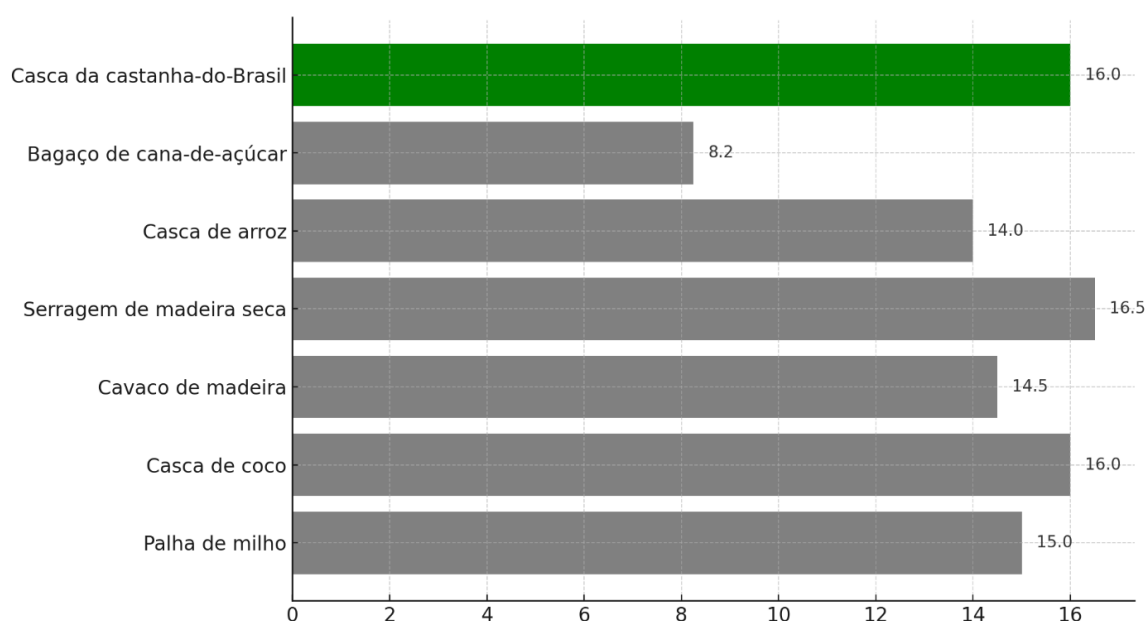
- Coleta e seleção da castanha – A castanha é adquirida de fornecedores que adotam boas práticas de coleta e armazenamento, ainda que estas não sejam formalmente certificadas. A associação opta por rejeitar produtos fora dos padrões de conservação.
- Armazenamento e secagem – A castanha é armazenada com casca em galpões próprios e submetida à secagem natural ao sol antes do beneficiamento. A logística de transporte combina modalidades fluvial e terrestre, refletindo as condições geográficas da região amazônica.
- Processamento e combustão da casca – Durante o beneficiamento, a casca é separada e direcionada para queima na caldeira. Esse processo gera calor para a estufa de secagem e, como subproduto, uma quantidade significativa de cinzas, cerca de 100 kg por dia, durante a safra.

A ausência de medidores de umidade ou instrumentos técnicos mais precisos na etapa de seleção indica uma limitação na padronização dos critérios de qualidade da biomassa. A queima da casca, embora eficiente na substituição de fontes convencionais de energia elétrica, ainda não é contabilizada em termos de produção energética (kWh), o que dificulta a quantificação dos benefícios econômicos reais.

10.3 Potencial energético de Biomassas

Estudos recentes demonstram que a biomassa da casca da castanha possui alto potencial calorífico, especialmente quando corretamente armazenada e seca, podendo alcançar valores superiores a 16 MJ/kg (Silva; Lima, 2020). Com base nesses dados, é possível projetar sistemas mais eficazes para geração de vapor e calor, que alimentem a própria usina, reduzindo custos operacionais e impactos ambientais. Portanto, com um investimento adequado em infraestrutura e controle técnico, seria possível transformar esse resíduo em uma fonte energética mensurável e economicamente mais eficiente para a própria usina e, potencialmente, para a comunidade.

Gráfico 3. Potencial energético da Castanha-do-Brasil e outras biomassas



Fonte: Soares, L. 2025, coleta de dados por referências.

A análise gráfica comparativa acima, do poder calorífico inferior (PCI), de diferentes tipos de biomassas, é possível observar que a casca da castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*) apresenta um valor significativo de 16 MJ/kg, posicionando-se entre os resíduos lignocelulósicos com maior potencial energético. Segundo Almeida et al. (2020), esse valor evidencia a viabilidade da utilização da casca da castanha como uma fonte energética alternativa e sustentável, especialmente em regiões da Amazônia onde há grande disponibilidade do fruto.

Quanto ao bagaço de cana-de-açúcar, sendo um dos resíduos mais utilizados no setor sucroenergético brasileiro, possui poder calorífico que varia entre 7,5 e 9 MJ/kg (Rodrigues

et al., 2015), ainda que este possua menor capacidade quanto comparada a casca da castanha-do-Brasil, também é um resíduo que pode ser melhor explorado como fonte energética visto que a cana-de-açúcar e seus produtos variados possui um segmento na economia forte no país.

Em relação à casca de arroz, que possui um PCI médio de 13 a 15 MJ/kg (Demirbaş, 2004), a casca da castanha-do-Brasil também demonstra vantagem energética. O mesmo se observa na comparação com o cavaco de madeira 13 a 16 MJ/kg (Telmo et al., 2010), que apresenta ampla utilização em caldeiras de biomassa, mas cujo valor energético pode ser similar ou ligeiramente inferior ao da castanha, dependendo da espécie de madeira.

A serragem de madeira seca, com PCI entre 15 e 18 MJ/kg (Parikh et al., 2007), e a casca de coco, com 15 a 17 MJ/kg (Costa et al., 2013), são as únicas biomassas que se aproximam do desempenho da casca da castanha-do-Brasil. É importante levar em consideração que o aproveitamento energético da castanha possui vantagens regionais, dado seu alto índice de geração no Brasil, especialmente nos estados da região Norte, onde o extrativismo é intenso. Tanto a serragem de madeira seca quanto a casca de coco devem ser valorizadas como potenciais fonte energética e econômica de acordo considerando a demanda regional e a viabilidade de aproveitamento em locais estrategicamente localizados.

Em relação a palha de milho, cuja média de PCI situa-se entre 14 e 16 MJ/kg (Obernberger & Thek, 2004), é frequentemente mais aproveitada no centro-sul do país, apesar de manter um padrão de valor calorífico, não possui uma abundância exuberante na Amazônia, principalmente quando comparada a castanha-do-Brasil.

Segundo os dados analisados evidenciam o grande potencial energético da casca da castanha-do-Brasil, que além de possuir valores caloríficos competitivos frente a outras biomassas amplamente utilizadas, se destaca por ser um resíduo agrícola com significativa disponibilidade no Brasil, particularmente em comunidades extrativistas da Amazônia. Seu aproveitamento energético pode representar não apenas uma alternativa sustentável, mas também uma fonte de renda local, contribuindo para a valorização da sociobiodiversidade e para o desenvolvimento de sistemas energéticos mais limpos e regionais.

A mensuração técnica do potencial energético da biomassa da casca da castanha-do-Brasil é fundamental para garantir a eficiência e a viabilidade econômica do aproveitamento desse resíduo na usina de beneficiamento em Amaturá. Medições mais rigorosas, como o teor de umidade, poder calorífico e volume disponível, permitem dimensionar corretamente a infraestrutura necessária, otimizar a queima nas caldeiras e reduzir desperdícios energéticos.

10.4 Impacto ambiental do uso da castanha-do-Brasil na Região de Amaturá

A utilização da casca da castanha-do-Brasil como fonte de energia térmica apresenta um potencial ambiental positivo, principalmente ao substituir fontes fósseis ou energia elétrica convencional por biomassa renovável. A queima controlada da casca reduz a quantidade de resíduos sólidos descartados no ambiente, contribuindo para uma economia circular e para a diminuição da pressão sobre os ecossistemas locais. É importante destacar que ainda existem emissões atmosféricas associadas à queima, o que reforça a necessidade de monitoramento contínuo e da instalação de filtros nas caldeiras para controle de particulados.

Do ponto de vista ambiental, a utilização da casca como biomassa tem contribuído para a redução do descarte inadequado de resíduos no entorno da usina. Antes da adoção desse modelo, parte das cascas era descartada em valas ou acumulada a céu aberto, gerando impactos como proliferação de insetos, mau cheiro e risco de contaminação do solo e das águas superficiais.

Considera-se o uso da casca como algo ambientalmente vantajoso. Isso porque a prática evita o acúmulo de resíduos e elimina a necessidade de descarte inadequado, comum em localidades que não possuem sistemas de gestão de resíduos estruturados. Além disso, o subproduto da combustão, as cinzas, é reaproveitado de maneira empírica como fertilizante natural em pequenos cultivos, fortalecendo a agroecologia local. Essa prática está alinhada com princípios de economia circular e manejo sustentável da biomassa (Altieri, 2012).

Contudo, foi observada a inexistência de um plano de monitoramento ambiental formal. A queima da biomassa, embora mais limpa do que combustíveis fósseis, ainda pode gerar emissões atmosféricas de material particulado e compostos orgânicos voláteis (COVs), se realizada de forma inadequada. A ausência de filtros ou sistemas de controle na chaminé da caldeira configura um ponto de atenção, especialmente considerando a proximidade da usina com comunidades locais.

Dessa forma, apesar dos benefícios observados, a sustentabilidade plena do processo depende da adoção de práticas de controle ambiental, incluindo a medição das emissões e o manejo adequado das cinzas, conforme previsto na Resolução CONAMA nº 382/2006, que dispõe sobre limites máximos de emissão para fontes fixas.

10.5 Inclusão Social e Fortalecimento das Cadeias Produtivas

O uso sustentável dos resíduos da castanha-do-Brasil está diretamente relacionado à inclusão social e ao fortalecimento das cadeias produtivas locais. O modelo adotado pela usina de Amaturá, operado por associações e cooperativas comunitárias, permite que os lucros e benefícios retornem para as próprias comunidades extrativistas.

Ao relacionar os dados obtidos com a literatura, verifica-se que o aproveitamento da casca da castanha-do-Brasil como biomassa representa uma estratégia eficaz de gestão de resíduos sólidos, além de promover redução de impactos ambientais, uso eficiente de recursos naturais e empoderamento comunitário.

Estudos como o de Pereira et al. (2022) ressaltam que a inclusão de resíduos agroindustriais no processo energético em pequenas usinas na Amazônia pode representar não apenas uma alternativa sustentável, mas também uma política pública de geração de emprego e renda.

O envolvimento direto de cerca de 400 famílias no fornecimento de matéria-prima, bem como a possibilidade de reinvestimento dos recursos gerados na manutenção da usina e nos projetos sociais das comunidades, indica um modelo de bioeconomia que valoriza os saberes tradicionais e promove o desenvolvimento regional com base na sociobiodiversidade amazônica.

O processo produtivo fortalece o sentimento de pertencimento e contribui para a valorização cultural da atividade extrativista. Isso é evidenciado na escolha de não comercializar castanhas de má qualidade, priorizando a qualidade do produto e a responsabilidade ambiental.

A estrutura cooperativa também viabiliza a capacitação técnica de jovens e adultos das comunidades, mesmo que de forma ainda limitada. Tal realidade reforça a necessidade de ampliação de políticas públicas voltadas ao fortalecimento da agroindústria familiar, especialmente no contexto amazônico, onde as distâncias e a logística dificultam o acesso a insumos, assistência técnica e mercados consumidores.

10.6 Limitações do Processo e Desafios Identificados

Durante a pesquisa, foram identificadas limitações operacionais e estruturais que comprometem a eficiência energética e a sustentabilidade ambiental do uso da casca da

castanha-do-Brasil como biomassa na Usina de Amaturá. Entre os principais desafios observados destacam-se:

- Falta de instrumentos de medição energética: A ausência de medidores de consumo ou produção térmica dificulta a mensuração real dos ganhos obtidos com o uso da biomassa.
- Ausência de sistema de controle de emissões: A caldeira não possui filtros ou mecanismos para conter os poluentes atmosféricos, o que pode impactar a saúde dos trabalhadores e do entorno.
- Estacionalidade da produção: A forte dependência da safra da castanha (geralmente entre março e agosto) limita o funcionamento contínuo da usina e a geração de emprego.
- Baixa capacitação técnica: Muitos trabalhadores atuam de forma empírica, sem formação técnica específica, o que compromete a padronização dos processos e a segurança operacional.

Apesar dessas limitações, é importante destacar o potencial transformador do modelo em curso. Com investimentos adequados e apoio técnico-científico, é possível ampliar a eficiência e a sustentabilidade da usina, gerando benefícios ainda mais significativos para a região.

Tabela 1. Análise de dados

Indicador	Dados	Observações
Número de famílias atendidas	400	Inclui comunidades indígenas e Ribeirinhas
Volume médio diário de castanha(kg)	300 - 800	Varia conforme safra e entressafra
Quantidade média diária de cinzas(kg)	100	Doadas para agricultura local
Percentual de mulheres colaboradoras	70%	Predominância feminina no trabalho
Tempo sem apoio governamental (anos)	5+	Sem financiamento externo recente
Uso de EPI	Não	Risco para saúde ocupacional
Capacitação formal	Básica	Apenas orientação inicial

Fonte: Soares, L. 2024

Os dados evidenciam a situação ambiental e socioeconômica em que a usina se encontra, bem como os desafios estruturais enfrentados, a unidade atende aproximadamente 400 famílias, incluindo comunidades indígenas e ribeirinhas, o que reforça seu papel social como instrumento de promoção da sustentabilidade e inclusão produtiva de populações tradicionais.

O volume médio diário de beneficiamento da castanha-do-Brasil, que varia entre 300 e 800 kg, revela uma capacidade operacional significativa, embora sujeita às oscilações naturais impostas pela sazonalidade das safras. A produção média de cinzas, estimada em 100 kg diários, oriunda do processo de queima ou aproveitamento de resíduos, é destinada à agricultura local, para a comunidade local, configurando uma prática inicial de reaproveitamento e de economia circular, ainda que incipiente sob a perspectiva energética e industrial.

Destaca-se, ainda, a predominância feminina entre os colaboradores da unidade, representando cerca de 70% do total de trabalhadores. Esse dado sinaliza o protagonismo das mulheres no contexto de serviço da usina local e ressalta a importância de políticas públicas voltadas à equidade de gênero e à valorização do trabalho feminino.

Apesar de sua importância social, econômica e ambiental, a unidade atua há mais de cinco anos sem receber apoio direto do poder público, evidenciando uma lacuna no financiamento estatal. Essa ausência compromete o potencial de expansão, a modernização tecnológica e a consolidação da iniciativa.

dada a exposição constante a poeiras, resíduos orgânicos e outros agentes nocivos. A capacitação formal da força de trabalho é considerada limitada, sendo restrita a orientações iniciais, o que afeta negativamente a segurança do processo produtivo, a eficiência operacional e a capacidade de inovação da unidade.

A ausência do uso de equipamentos de proteção individual (EPI), o que representa um risco substancial à saúde ocupacional dos trabalhadores, o que reforça a necessidade de programas de treinamento contínuos e investimentos em segurança do trabalho, conforme orientações da NR-15 e NR-31 (Brasil, 2022).

Observa-se que o processo carece de controles técnicos mais rigorosos, como a medição da umidade da casca e a padronização da queima, que poderiam aumentar a eficiência energética e reduzir emissões poluentes (Leite, 2021). Segundo Souza et al. (2020), o controle da umidade da biomassa é decisivo para otimizar a combustão e diminuir a geração de resíduos tóxicos.

Fluxograma 1. Processo de Aproveitamento da Casca da Castanha-do-Brasil na Usina de Amaturá



Fonte: Soares, L. 2024

O fluxograma ilustra de forma sequencial as principais etapas envolvidas no processo de beneficiamento da castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*), em uma usina localizada no município de Amaturá-AM, evidenciando um modelo integrado que alia eficiência produtiva

ao aproveitamento sustentável de resíduos. abrangendo desde a fase inicial de coleta até as etapas de processamento, reaproveitamento dos resíduos e distribuição do produto final.

Inicialmente, o processo tem início com a coleta das castanhas nas áreas de extração, seguindo para o transporte até a Usina de beneficiamento, onde a carga é recebida e passa por uma triagem, com o objetivo de selecionar os frutos aptos para o processamento. Após essa etapa, inicia-se a lavagem das castanhas, seguida pela autoclavagem, processo que consiste no amolecimento da casca e higienização dos frutos, garantindo maior eficiência no descascamento e segurança sanitária. Em sequência, as castanhas passam por uma secagem em estufa, utilizando o vapor gerado pela caldeira, o que evidencia o processo de reaproveitamento integrando a casca como subsídio de aproveitamento energético do próprio processo.

As castanhas secas são posteriormente destinadas a um armazenamento adequado, aguardando o descascamento e o beneficiamento final. Nesse processo, as cascas são utilizadas como biocombustível na caldeira, sendo reaproveitadas para a geração de calor necessário à secagem das novas cargas de castanha, criando um ciclo de reaproveitamento energético.

A queima dessas cascas resulta em cinzas que são distribuídas como fertilizante a agricultores locais, promovendo a circularidade do processo e o fortalecimento das práticas agrícolas sustentáveis na região.

Destaca-se, nesse fluxo, o aproveitamento da casca, um resíduo que tradicionalmente tinha baixo valor comercial, mas que vem sendo reaproveitado como fonte energia alternativa. Essa etapa inclui o armazenamento e a utilização da casca como biomassa para geração de energia térmica promovendo ganhos em eficiência energética para a Usina de beneficiamento.

O fluxograma contempla a fase de distribuição, onde o produto final, as amêndoas das castanhas, é preparado para o mercado consumidor, enquanto o resíduo energético contribui para a sustentabilidade do processo produtivo, reforçando o compromisso com a redução de impactos ambientais e o aproveitamento integral dos recursos naturais. Esse modelo evidencia não apenas a valorização da cadeia produtiva da castanha-do-Brasil, mas também a implementação de uma lógica de economia circular, com redução de resíduos, geração de energia renovável e benefícios diretos à agricultura familiar local.

10.7 Impacto socioeconômico

O uso da casca da castanha como biomassa na usina contribui para a inclusão social ao gerar postos de trabalho para os colaboradores durante a safra, com predominância feminina de 70%. A participação de jovens entre 18 e 30 anos, na sua maioria filhos de associados, representa a continuidade da tradição e o fortalecimento das cadeias produtivas familiares locais (Sachs, 2009).

O modelo de aproveitamento dos resíduos auxilia na geração de renda extra, tanto pela queima que mantém a usina operante, quanto pela doação das cinzas que beneficiam pequenos agricultores, promovendo a diversificação produtiva e reforçando a economia solidária regional (IPEA, 2020). Implementar práticas de gestão ambiental e social alinhadas com padrões internacionais pode ser fundamental para garantir a sustentabilidade da usina a longo prazo e fortalecer o papel da castanha do Brasil como produto estratégico da bioeconomia amazônica (Pereira et al., 2022).

Por outro lado, a necessidade de dois colaboradores dedicados exclusivamente à queima dos resíduos implica custos adicionais para a produção, um fator que exige balanço entre eficiência operacional e benefícios sociais (Dias, 2011).

Os resultados obtidos indicam que o aproveitamento da casca da castanha-do-Brasil como biomassa para aquecimento na usina de Amaturá é uma prática sustentável que traz benefícios ambientais por evitar descarte inadequado, sociais pela geração de empregos e fortalecimento comunitário, e econômicos pelo uso eficiente dos resíduos sólidos.

No entanto, desafios como a ausência de apoio governamental, falta de certificações ambientais e sanitárias, e condições precárias de segurança no trabalho são entraves para o pleno desenvolvimento dessa cadeia produtiva.

A continuidade e ampliação desse modelo exigem políticas públicas integradas, capacitação técnica, investimentos em infraestrutura e fortalecimento institucional das associações envolvidas, para garantir a sustentabilidade ambiental, social e econômica da região.

10.8 Análise Crítica

Os resultados obtidos ao longo da pesquisa confirmam a viabilidade do uso da biomassa da castanha como alternativa energética no contexto amazônico, em consonância

com diversos estudos que apontam o potencial de resíduos agroflorestais como fontes limpas de energia (Gonçalves et al., 2019; Lima et al., 2022).

Segundo Carneiro et al. (2017), o aproveitamento de resíduos agrícolas para geração de energia térmica pode representar uma solução eficaz para comunidades isoladas da Amazônia Legal, especialmente quando associado a modelos cooperativos e de gestão comunitária. A experiência de captação energética através da biomassa em Amaturá confirma essa perspectiva, ainda que de forma embrionária e limitada por fatores estruturais e institucionais.

Em linha com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), o uso da casca da castanha na caldeira contribui para a não geração de resíduos, agregando valor ao subproduto e promovendo a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto. No entanto, para que esse modelo se consolide como referência, é fundamental que sejam superadas as barreiras técnicas, como a ausência de monitoramento das emissões e a falta de indicadores de eficiência energética.

Dessa forma, a inclusão social, o aproveitamento energético e a redução de impactos ambientais precisam ser compreendidas como dimensões integradas e interdependentes de um mesmo processo. O fortalecimento da cadeia da castanha-do-Brasil, nesse contexto, depende não apenas de boas intenções locais, mas de políticas públicas, financiamento e formação técnica.

11. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa permitiu compreender de forma abrangente o papel estratégico da usina de beneficiamento de castanha-do-Brasil localizada em Amaturá-AM, especialmente no que se refere ao uso sustentável da casca como biomassa para geração de energia. O estudo revelou que a prática de aproveitamento energético do resíduo contribui significativamente para a redução de impactos ambientais locais, promovendo uma economia circular e fortalecendo as cadeias produtivas comunitárias. Os resultados indicam que o modelo adotado, baseado na gestão comunitária através da APROCAM e COBEPAM, favorece a inclusão social de aproximadamente 400 famílias, ao mesmo tempo em que amplia a eficiência produtiva e a valorização da sociobiodiversidade amazônica. Além disso, o reaproveitamento da casca como combustível para a caldeira reduz a necessidade de fontes energéticas convencionais, representa um ganho econômico e minimiza os problemas ambientais associados ao descarte inadequado de resíduos sólidos.

Contudo, a pesquisa também evidenciou desafios importantes, como a ausência de sistemas de monitoramento ambiental formalizados, inexistência de filtros na caldeira para controle de emissões atmosféricas e a falta de equipamentos que possibilitem mensurar com precisão o potencial energético gerado. Tais limitações comprometem a sustentabilidade plena do processo e indicam a necessidade de investimentos em infraestrutura, capacitação técnica e políticas públicas que fortaleçam a agroindústria familiar de base extrativista. Por fim, destaca-se que a usina de Amaturá configura-se como uma referência relevante de bioeconomia sustentável na Amazônia, ao integrar aspectos sociais, econômicos e ambientais.

A continuidade e o aprimoramento desse modelo dependem de ações integradas entre poder público, iniciativa privada e comunidades tradicionais, visando garantir a conservação ambiental, a valorização dos modos de vida locais e a promoção do desenvolvimento regional sustentável. Esse modelo destaca-se como uma referência para outras iniciativas na Amazônia, apontando caminhos para políticas públicas voltadas à bioeconomia e à valorização da sociobiodiversidade, alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente no que tange à erradicação da pobreza (ODS 1), igualdade de gênero (ODS 5), trabalho decente e crescimento econômico (ODS 8), consumo e produção responsáveis (ODS 12) e ação contra a mudança global do clima (ODS 13).

12. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. ANEEL reforça protagonismo do Brasil em fontes renováveis no Energyyear 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2022/aneel-reforca-protagonismo-do-brasil-em-fontes-renovaveis-no-energyyear-2022> Acesso em 22 jun 2024.

ALTIERI, M. A. Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2012.

ALMEIDA, J. J. Do extrativismo à domesticação: as possibilidades da castanha-do-pará. 2015. Tese (Doutorado em História Econômica) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

ALMEIDA, M. A. et al. *Potencial energético da casca da castanha-do-Brasil*. Revista Brasileira de Energias Renováveis, 9(2), 356–367, 2020.

ÁLVARES, V. S., CASTRO, I. M., COSTA, D.A., LIMA, A. C. & MADRUGA, A. L. S. (2012). Qualidade da castanha-do-Brasil do comércio de Rio Branco, Acre. *Acta Amazônica*, 42(2), 269–274.

ANEEL. Relatório anual de energia renovável no Brasil. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília: ANEEL, 2022.

ANJOS, D. B., RIBEIRO, C. F., NUNES, T. A., SILVA, J. Potencial da casca da castanha do Brasil como biofertilizante no cultivo de *Lactuca sativa* L. South American Journal of Basic Education, Technical and Technological, Rio Branco, v. 4, n. 1, p. 193-199, 2017.

ANDRADE, L.P. Petroquímica. Ed. 359, 2014.

APROCAM - fábrica de castanha. Castanha beneficiada. Disponível em: <https://aprocam-fabrica-de-castanha.negocio.site/>. Acesso em 20 nov 2023.

AUTOSSUSTENTÁVEL – De energias não renováveis a energias renováveis – uma breve história. Autossustentável, 2020. Disponível em: [https://autossustentavel.com/2020/04/de-energias-nao-renovaveis-a-energias-renovaveis-uma-breve-historia.html#:~:text=A%20descoberta%20do%20petr%C3%B3leo%20\(fonte,na%20pesca%20e%20na%20minera%C3%A7%C3%A3o](https://autossustentavel.com/2020/04/de-energias-nao-renovaveis-a-energias-renovaveis-uma-breve-historia.html#:~:text=A%20descoberta%20do%20petr%C3%B3leo%20(fonte,na%20pesca%20e%20na%20minera%C3%A7%C3%A3o). Acesso em 12 nov 2024.

BALÉE, W. A cultura das florestas amazônicas. Em: Posey DA, Balée W, editores. Gestão de recursos na Amazônia: estratégias indígenas e populares. Nova York: The New York Botanical Garden. pp. 1–21, 1989

BANDEIRA, F. P. M. O aproveitamento da energia solar no Brasil – situação e perspectivas. Brasília: Câmara dos Deputados, 2012.

BENEDETTI, O.I.S., CHAVES, R.Q., MAGALHÃES, A.M. *et al.*, “Análise preliminar da produção de etanol a partir de celulose: caminhos e desafios para a produção de álcool no Rio Grande do Sul”, *Engenharia Ambiental*, v. 6, n. 2, pp. 272-284, mai/ago 2009.

BOUNDELLE, G.M., CHIES, D., MARTINS, D.G., “O processo de fabricação de painéis compensados no Estado do Paraná analisado por meio dos rendimentos e dos resíduos gerados”, In: *Anais do Congresso Ibero-Americano De Pesquisa E Desenvolvimento De Produtos Florestais*, Curitiba, 2002.

BOUVIE, L., BORELLA, D. R., PORTO, P.A.O, SILVA, A.C., LEONEL, S. Caracterização físico-química dos frutos de castanheira do Brasil. **Nativa**, v. 4(2), p. 107-111, 2016.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVS). Rio de Janeiro: IBGE, 2020.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 03 ago. 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 14 maio 2025.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 382, de 26 de dezembro de 2006. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, 28 dez. 2006.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. Norma Regulamentadora nº 15 – Atividades e Operações Insalubres. Aprova as normas regulamentadoras de segurança e medicina do trabalho. Portaria n.º 3.214, de 8 de junho de 1978. Atualizada em 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/servicos/norma-regulamentadora-n-15>. Acesso em: 15 maio 2025

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. Norma Regulamentadora nº 31 – Segurança e Saúde no Trabalho na Agricultura, Pecuária, Silvicultura, Exploração Florestal e Aquicultura. Portaria n.º 3.214, de 8 de junho de 1978. Atualizada em 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/servicos/norma-regulamentadora-n-31>. Acesso em: 15 maio 2025

BRUNDTLAND. Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1988.

CARNEIRO, A. de C. O.; SANTOS, L. R.; SILVA, C. A. Aproveitamento energético da biomassa residual na Amazônia Legal: potencialidades e desafios. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, Curitiba, v. 6, n. 3, p. 569–583, 2017. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/52348>. Acesso em: 14 maio 2025.

CARVALHO, D. F.; PEREIRA, L. G. Tecnologias emergentes para aproveitamento energético da biomassa: gaseificação como alternativa sustentável. *Renewable Energy Advances*, v. 12, p. 55-65, 2019.

CARVALHO, L. F. G. B., MELO, J. B. S.; FONSECA, A. P.; GUIMARÃES, F. S., LIMA, J. M., PACHA, J. R. S. Origem e aplicação de cinzas vegetais na construção civil. 2018. Even3 – Plataforma de Gestão de Eventos Científicos. Disponível em: <https://even3.azureedge.net/anais/47500.pdf>. Acesso em 6 nov 2023.

CARVALHO, L. F. G. B., MELO, J. B. S., FONSECA, A. P., GUIMARÃES, F. S., LIMA, J. M., PACHA, J. R. S. Origem e aplicação de cinzas vegetais na construção civil. 2015. Even3 – Plataforma de Gestão de Eventos Científicos. Disponível em: <https://even3.azureedge.net/anais/47500.pdf>. Acesso em 9 fev 2024.

CLEMENT, C.R, JUNQUEIRA, A.B. Entre um mito imaculado e um futuro empobrecido. *Biotropica* 42: 534–536, 2010.

COUTO, L. C., COUTO, L., WATZLAWICK, L. F., & CÂMARA, D. Vias de valorização energética da biomassa. *Biomassa & Energia*, 1(1), 71-92, 2004.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 362, de 23 de junho de 2005. Dispõe sobre o recolhimento, coleta e destinação final de óleo lubrificante usado ou contaminado. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 24 jun. 2005. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=462>. Acesso em: 14 maio 2025.

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.

CORREA, J. C. C., FERREIRA, F. F., GUIMARÃES, R. C. M. Tijolos ecológicos de bagaço de cana-de-açúcar. Revista EPeQ/Fafibe on-line, 5ª edição, 2013. Disponível em: <http://www.unifafibe.com.br/revistasonline/arquivos/revistaepqfafibe/sumario/27/05022014173529.pdf>. Acesso em: 6 nov. 2023.

CORDOVA, C. G. Segurança na operação de Caldeiras e a importância na indústria. Centro Universitário Unifacvest, 2018.

COSTA, A. P. C. et al. (2013). *Estudo do poder calorífico da casca de coco verde para fins energéticos*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 17(9), 960–965.

DEMIRBAS, A. (2004). *Combustion characteristics of different biomass fuels*. Progress in Energy and Combustion Science, 30(2), 219–230.

DENVEVAN, W. M. O “Mito Imaculado” revisitado. Geogr Rev 101: 576–591, 2011.

DUTRA, T. R, MASSAD, M. D, SARMENTO, M. F. Q, OLIVEIRA, J. C. Emergência e crescimento inicial da canafistula em diferentes substratos e métodos de superação de dormência. Revista Caatinga, Mossoró, v.25, n.2, p.65-71, abr./jun. 2012.

DI STADIO, A., ISHAI, R., GAMBACORTA, V., KORSCH, F., RICCI, G., DELLA, V. A., & BERNITSAS, E. (2020). Nutraceuticals as immune-stimulating therapy to fight COVID-19. Combination of elements to improve the efficacy. *European review for medical and pharmacological sciences*, 24(17), 9182–9187. https://doi.org/10.26355/eurrev_202009_22869, 2020.

DIAS, G. Sustentabilidade: a busca do desenvolvimento sustentável. São Paulo: Atlas, 2011.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. What is the Circular Economy? [S.l.]: EMF, 2019. Disponível em: <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>. Acesso em: 29 maio 2025.

EMBRAPA, Castanha da Amazônia. Estudos sobre a espécie e sua cadeia de valor. Pós-coleta e tecnologia de alimentos. Brasília, DF 2023.

FERNANDES, F. S. Caracterização e estudo cinético da pirólise de subprodutos da indústria vitivinícola visando seu aproveitamento energético. 2021. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2021.

FERREIRA, D. A., SANTOS, M. A., & LIMA, G. R. (2021). *Certificações sustentáveis e o uso de biomassa residual em construções verdes no Brasil*. Revista Brasileira de Construção Sustentável, 9(3), 67-79. <https://doi.org/10.4321/rbcs.v9i3.2021>

FERREIRA, R. M. et al. Eficiência energética e impactos ambientais na queima de biomassa: estudo sobre caldeiras industriais. *Revista Brasileira de Energia Renovável*, v. 10, n. 2, p. 120-132, 2021.

FREITAS, S.P., SILVA, O.F., MIRANDA, I.C., 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, 2007.

FOELKEL, C.E.B., “Utilização da Biomassa do Eucalipto para produção de calor, Vapor e eletricidade Parte 1: Biomassa Florestal & Florestas Energéticas”, *Eucalyptus Online Book & Newsletter*, 2016.

FDA webpage. FDA Completes Review of Qualified Health Claim Petition for Macadamia Nuts and the Risk of Coronary Heart Disease <https://www.fda.gov/food/cfsan-constituent-updates/fda-completes-review-qualified-health-claim-petition-macadamia-nuts-and-risk-coronary-heart-disease>. Acesso em 22 jun 2024.

GIODA, A. Comparação dos níveis de poluentes emitidos pelos diferentes combustíveis utilizados para cocção e sua influencia no aquecimento global. a Departamento de Química, Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 22451-900 Rio de Janeiro – RJ, Brasil. *Quim. Nova*, Vol. 41, No. 8, 839-848, 2018.

GOMES, F. C.; SILVA, R. S. Matriz energética sustentável no Brasil: desafios e perspectivas para a Amazônia. *Revista Brasileira de Energia*, v. 26, n. 1, p. 45-61, 2020.

GONÇALVES, M. A.; SANTOS, E. F.; BASTOS, L. C. Análise do uso de resíduos agroflorestais como fonte alternativa de energia na região Norte do Brasil. *Revista Engenharia e Ambiente*, Rio de Janeiro, v. 16, n. 1, p. 88–101, 2019. Disponível em: <https://www.revistaengenhariaeambiente.com.br/artigo/2019/residuos-agroflorestais-norte>. Acesso em: 14 maio 2025.

GLOBAL FOOTPRINT NETWORK. Ecological footprint. Global Footprint Network, 2024. Disponível em: <https://www.footprintnetwork.org/our-work/ecological-footprint/#worldfootprint>. Acesso em 12 nov 2024.

HECKENBERGER, M.J, KUIRURO, A, KUIKURO, U.T, RUSSEL, J.C, SCHMIDT, M, et al. Amazônia 1492: Floresta intocada ou parque cultural? *Science* 301: 1110–1114, 2003.

HIGASHIKAWA, F. S., Silva, C. A., Bettiol, W. Chemical and physical properties of organic residues. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.1742-1752, 2010.

HOMMA, A. K. O. A modernização da exploração da castanha-do-Brasil no sudoeste da Amazônia. *Revista de Estudos Sociais*, v. 21, n. 41, p. 112-130, 2019.

IBAMA. Manejo sustentável e conservação da biodiversidade na Amazônia. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Brasília: IBAMA, 2020.

IMAZON. Impactos ambientais e mitigação na Amazônia. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia. Belém: Imazon, 2020.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Renewables 2023: Analysis and forecast. Paris: IEA, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewables-2023>. Acesso em: 29 maio 2025.

INTERGOVERNMENTAL PAINEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. *Climate Change 2018: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment

Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2018.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO AGROPECUÁRIO E FLORESTAL SUSTENTÁVEL DO ESTADO DO AMAZONAS (IDAM). *Amaturá*. Disponível em: <https://www.idam.am.gov.br/municipio/amatura/>. Acesso em: 27 maio 2025.

IPBES (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services). *Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services*. Bonn, Germany: IPBES Secretariat, 2019.

IPEA. Perfil socioeconômico das comunidades extrativistas do Amazonas. Brasília: IPEA, 2020.

IEA50. Global energy review. Iea50, 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021>. Acesso em: 12 nov 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção da extração vegetal e da silvicultura. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/am/amatura.html>. Acesso em: 09 de julho de 2023.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SOCIAL, ECONÔMICO E AMBIENTAL DO PARÁ. Estudo das cadeias de comercialização de produtos florestais não madeireiros: 1-305 IDESP (Relatórios Técnicos), Belém. 2011.

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>.

KITAMURA, P.C., MULLER, C.H. Castanhais nativos de Marabá-PA: Fatores de depressão e bases para a sua preservação. EMBRAPA, Centro de Pesquisas Agropecuário do Trópico Úmido. Documentos 30: 1-32, 1984.

KIRCHHERR, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221-232.

KRAEMER, M, TINOCO, J. IN: Contabilidade e Gestão Ambiental, Paraná: Atlas 2004 34-58p. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-407017>. Localização: BR67.1; 333.7, 152. 46026/2005, 2004.

KRATZ, D. et al. Substratos renováveis na produção de mudas de *Eucalyptus benthamii*. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.23, n.4, p.607-621, out./dez. 2013.

LEÃO, J. R. A. et al. Resíduos agroflorestais utilizados na germinação e desenvolvimento de mudas de angelim-doce. *Biotemas*, Florianópolis, v.26, n.1, jan./mar. 2013.

LEFF, E. Racionalidade Ambiental: a reapropriação social da natureza. 2. ed. São Paulo: Cortez, 2001.

LEFF, E. Epistemologia ambiental. São Paulo: Cortez, 2000.

LEFF, E. Saber ambiental: sustentabilidade, racionalidade, complexidade, poder. 13. ed. Petrópolis: Vozes, 2010.

LEFF, E. La complejidad ambiental: estrategias para la sustentabilidad. México: Siglo XXI Editores, 2002.

LEITE, R. Uso da biomassa amazônica na geração de energia sustentável. Manaus: Universidade Federal do Amazonas, 2021.

LEVIS, C, SOUZA P.F.D, SCHIETTI J, EMILIO T, PINTO, J.L.P.D.V, et al. Pegada Humana Histórica na Composição de Espécies Arbóreas Modernas no Interflúvio Purus-Madeira, Amazônia Central. PLoS ONE 7(11): e48559, 2012.

LIMA, J. P.; ANDRADE, R. S. Potencial energético da biomassa no Amazonas: desafios e perspectivas. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 8, n. 2, p. 115-130, 2019.

LIMA, R. R.; MOURA, M. A.; CASTRO, J. C. Sustentabilidade energética na Amazônia: o papel das fontes renováveis nas comunidades isoladas. *Revista de Ciências Ambientais*, Florianópolis, v. 16, n. 2, p. 121-136, 2022. Disponível em: <https://publicacoes.unisinos.br/index.php/rca/article/view/rca.2022.162.121>. Acesso em: 14 maio 2025.

LOPES, J. A. et al. Uso de cinzas de biomassa na recuperação de solos agrícolas degradados: benefícios e limitações. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 52, n. 5, p. 378-386, 2017.

MARAFON, A. C., SANTIAGO, A. D., AMARAL, A. F. C., BIERHALS, A. N., PAIVA, H. L., & GUIMARÃES, V. S. *Uso da biomassa para a geração de energia*. (1ªed.): Embrapa Tabuleiros Costeiros, 30p, 2016.

MARANHO, A. S., PAIVA, A. V. Emergência de plântulas de Supiarana (*Alchornea discolor* Poepp.) em substrato composto por diferentes porcentagens de resíduo orgânico de Açaí, 2012. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, Piracicaba, v.6, n.1, p.85-98, jan./mar. 2011.

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 Amazôn*. 42(1):157-164, 2012.

MARTINS, F. P., & PEREIRA, L. M. (2019). *A contribuição dos resíduos agroindustriais para a economia sustentável na Amazônia*. *Revista Amazônica de Desenvolvimento Regional*, 7(1), 112-126. <https://doi.org/10.5678/radr.v7i1.2019>

MARTINS, P. S.; SOUSA, R. A. Gestão ambiental de resíduos sólidos florestais: impactos e oportunidades. *Journal of Environmental Management*, v. 45, n. 2, p. 112-120, 2020.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Biodiversidade Brasileira, 2010. <https://antigo.mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidade-brasileira.html>. Acesso em 30/07/2023.

MARIOZA, P. H. A economia social e solidária na cadeia de valor da castanha-do-Brasil (*Bertholletia Excelsa* Bonpl.): um novo paradigma extrativista para Amazônia, 2022.

MELO, A. C.; SANTOS, F. T.; PEREIRA, L. R. Biomassa e gestão de resíduos sólidos urbanos: uma abordagem integrada para sustentabilidade ambiental. *Revista Ambiente & Sociedade*, v. 23, e02115, 2020.

MENEZES, R. A. et al. Cadeias produtivas da castanha-do-Brasil na Amazônia: desafios e potencialidades. *Acta Amazônica*, 2021.

MENDONÇA, L. T. et al. Avaliação do impacto ambiental e social do aproveitamento de resíduos da castanha-do-Brasil na Amazônia. *Revista Brasileira de Sustentabilidade*, v. 12, n. 3, p. 45-58, 2020

MCTI. Estratégia Nacional de Bioenergia. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Brasília: MCTI, 2023.

Ministério do Meio Ambiente. Política Nacional de Incentivo à Bioenergia. Brasília: MMA, 2022.

NAÇÕES UNIDAS. Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano: Declaração de Estocolmo, 1972. Disponível em: https://www.un.org/pt/events/pastevents/pdfs/stockholm_declaration.pdf. Acesso em: 30 nov 2024.

NOBRE, I., & NOBRE, C. A. The Amazonia Third Way Initiative: The role of technology to unveil the potential of a novel tropical biodiversity-based economy. *Sustainability Science*, 15(1), 1-12, 2020.

NOGUEIRA, I. M. S., LAHR, F. A. R., GIACON, V. M. Desenvolvimento e caracterização de painéis de partículas aglomeradas utilizando o resíduo do ouriço da Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*) e resina poliuretana derivada do óleo da mamona. *Revista Matéria*, v. 23, n. 1, p. e-11985, 2018.

NOGUEIRA, N. W. et al. Emergência e desenvolvimento inicial de plântulas de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. em função de diferentes substratos. *Revista Agro@mbiente On-Line*, Boa Vista, v.6, n.1, p.17-24, jan./abr. 2012.

NEGREIROS, J. R. S. et al. Diferentes substratos na formação de mudas de maracujazeiro-amarelo. *Revista Ceres*, v.51, n.294, p.243-249, nov./dez. 2004.

OBERNBERGER, I., & THEK, G. (2004). *Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behaviour*. *Biomass and Bioenergy*, 27(6), 653–669.

OLIVEIRA, J. M. C., LOBO, P. C. Avaliação do potencial energético de resíduos de biomassa amazônica. In: *4o Encontro de Energia no Meio Rural*, Campinas, 2002

OLIVEIRA, R. et al. Avaliação físico-química da biomassa proveniente da casca da castanha-do-Brasil. *Energy Reports*, 7, 1200-1210, 2021

OLIVEIRA, T. M. Matriz energética renovável: benefícios e desafios para o setor industrial brasileiro. *Energy Policy Journal*, v. 34, n. 1, p. 78-85, 2017.

ONISHI, C. M., VAZOLLER, R. F., REYDON, B. P. Pagamento por serviços ambientais: benefícios locais e globais. *Revista DAE*, n. 192, 2013.

PARIKH, J. et al. *Biomass properties and power generation performance*. *Biomass and Bioenergy*, 31(7), 451–457, 2007.

PERES, C.A., BAIDER, C. Seed Dispersal , Spatial Distribution and Population Structure of Brazilnut Trees (*Bertholletia excelsa*) in Southeastern Amazonia. *Ecology Tropical*. <http://www.jstor.org>. Structure, v. 13, n. 4, p. 595–616, 2009.

PEREIRA, E. B., MARTINS, F. R., ABREU, S. L., COUTO, P., STUHLMANN, R., COLLE, S. Effects of burning of biomass on satellite estimations of solar irradiation in Brazil. *Solar Energy*, n. 68, v. 1, p. 91-107, 2000.

PEREIRA, L. C.; FERREIRA, A. D.; MARTINS, S. M. A valorização dos resíduos agroindustriais na Amazônia como política de inclusão produtiva. *Revista Brasileira de Desenvolvimento Sustentável*, v. 8, n. 1, p. 33–47, 2022.

PERAICA, M., 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>.

PORTAL DA INDÚSTRIA. BIOMASSA. PORTAL DA INDÚSTRIA, 2023. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/biomassa/>. Acesso em: 20 set. 2023.

PNUMA, 2011. *Relatório Economia Verde*. Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável e a Erradicação da pobreza – Síntese para Tomadores de Decisão. Disponível em: www.unep.org/greeneconomy. Acesso em: 06 nov. 2023.

PRIETO-SANDOVAL, V., JACA, C., ORMAZABAL, M. Towards a consensus on the circular economy. *Journal of Cleaner Production*. v. 179, p. 605-615, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.224>. Acesso em: 06 nov. 2023.

RAWORTH, K. *Economia Donut: Uma alternativa ao crescimento a qualquer custo*. – 1.ed. – Rio de Janeiro: Zahar, 2019.

ROCHA, J. De S., PONTES, C. L. F.; CÂMARA, V. M. O. Da.; RAMOS, K. B. L., BESSA, T. M. F. Aproveitamento de fibras vegetais para a construção sustentável. *Revista Ibict*,

Brasília, v. 6 n. 2, p.42-47, jan./jun. 2013. Disponível em: <http://revista.ibict.br/inclusao/article/viewFile/1738/1944>. Acesso em: 06 nov. 2023.

RODRIGUES, J. A. et al. *Aproveitamento energético do bagaço de cana-de-açúcar em caldeiras industriais*. Revista Engenharia na Agricultura, 23(1), 55–62, 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>.

REIS, J. P., KLUCK, W. Geração de energia (vapor) a partir da queima de biomassa (bagaço de cana-de-açúcar). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 11, 2015. Anais [...] Campinas – SP: Unicamp, 2015.

REID, W. V, et al. Relatório da Avaliação Ecosistêmica do Milênio. Revista Millenium Ecosystem Assesment, 2005.

SANTOS, P. H.; OLIVEIRA, D. F. Tecnologias emergentes para aumento da eficiência em caldeiras de biomassa. *Journal of Cleaner Production*, v. 231, p. 789-797, 2019.

SAITO, C. H; BURSZTYN, M; MESQUITA, C. Ignacy Sachs e a construção do campo da sustentabilidade: contribuições e atualidade. *Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 58, p. 34-51, 2023. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/view/90341>

SACHS, I. Ecodesenvolvimento: crescer sem destruir. São Paulo: Vértice; Brasília: CNPq, 1986.

SACHS, I. Caminhos para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: Garamond, 2002.

SACHS, I. Desenvolvimento incluyente, sustentável, sustentado. Rio de Janeiro: Garamond, 2004.

SACHS, I. Caminhos para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: Garamond, 2009.

SACHS, J. D. *The Age of Sustainable Development*. New York: Columbia University Press, 2015.

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. 2023.

SESSA, T. C. Avaliação da utilização da cinza do bagaço de cana-de-açúcar em concreto usando construções residenciais de menor impacto. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

SANTOS, O. V. Estudo das potencialidades da castanha-do-Brasil: produtos e subprodutos. Programa de Pós-graduação em Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica Área de tecnologia

de Alimentos. Universidade de São Paulo Faculdade de Ciências Farmacêuticas, São Paulo, 2012.

SANTOS, M. J. APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE ÓLEOS VEGETAIS PRODUZIDOS NA AMAZÔNIA. 2014, 87 f, Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

SANTIAGO, F. L. S. Aproveitamento de resíduos florestais de *Eucalyptus spp.* Na indústria de fabricação de celulose para geração de energia térmica e elétrica. 2013. 109 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu, 2013.

SAES, B. M., ROMEIRO, A. R. O debate metodológico na economia ecológica: indefinição ou pluralismo? Universidade de São Paulo, Universidade Estadual de Campinas, 2018.

SEAB – SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO RURAL. Departamento de Economia Rural. Soja – Análise da Conjuntura Agropecuária. Novembro de 2013.

SCATOLINO, M. V., CABRAL, L. F. N., PROTÁSIO, T. P., CARNEIRO, A. C. O., ANDRADE, C. R., GUIMARÃES JR, J. B., & MENDES, L. M. Options for generation of sustainable energy: production of pellets based on combinations between lignocellulosic biomasses. *Waste and Biomass Valorization*, 9(3), 479-489, 2018.

SCHNEIDER, S. Agricultura familiar e desenvolvimento rural: desafios para a sustentabilidade. *Estudos Sociedade e Agricultura*, 24(1), 30-55, 2016.

SHEPARD, G.H, RAMIREZ, H. “Made in Brazil”: dispersão humana da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*, Lecythidaceae) na Amazônia antiga. *Econ Bot* 65: 44–65, 2011.

SILVEIRA, T. Avaliação de cinza de caldeira de indústria de concentrados de frutas cítricas sobre as propriedades de solo degradado e solo cultivado com cana-de-açúcar. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campos de Jaboticabal, São Paulo – Brasil, 2010.

SILVA, J. R. et al. *Impactos da adubação orgânica na qualidade do solo e na sustentabilidade agrícola*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 41, e0160154, 2017. DOI: 10.1590/18069657rbcs20160154.

SILVA, R. A.; MARTINS, A. C.; PEREIRA, J. S. Cadeia produtiva da castanha-do-Brasil no Estado do Amazonas: análise da produção e beneficiamento em comunidades extrativistas. *Revista Desenvolvimento Sustentável da Amazônia*, v. 12, n. 1, p. 33-45, 2020.

SILVA, R. S., OLIVEIRA, T. C., & ALMEIDA, J. R. (2020). *Uso de resíduos agrícolas na construção civil: avaliação técnica e ambiental*. Revista Engenharia e Sustentabilidade, 12(2), 45-58. <https://doi.org/10.1234/res.2020.1202>

SILVA, M. R.; OLIVEIRA, P. F.; CARVALHO, T. L. Valorização dos resíduos agrícolas para desenvolvimento rural sustentável: aspectos sociais e econômicos. *Cadernos de Agroecologia*, v. 16, n. 1, p. 42-53, 2021.

SILVA, F. et al. Potencial energético da casca da castanha-do-Brasil para produção de biomassa. *Journal of Renewable Energy*, 45(3), 125-134, 2019.

SILVA, J. R. da; LIMA, F. R.; ALMEIDA, M. C. R. Uso sustentável da biomassa lenhosa em indústrias florestais: redução da pressão sobre florestas naturais. *Revista Brasileira de Engenharia Florestal*, v. 25, n. 3, p. 345-359, 2018.

SILVA, M. A.; LIMA, J. C. Sustentabilidade e uso energético de resíduos agrícolas. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, 2020.

SILVA, M. A. da; COSTA, R. P.; OLIVEIRA, J. L. Aproveitamento energético de resíduos florestais na Amazônia: um estudo de caso em comunidades ribeirinhas. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 10, n. 2, p. 150–165, 2021.

SOARES, I. D., PAIVA, A.V., MIRANA, R.O.V., MARANHO, A.S. Propriedades físico-químicas de resíduos agroflorestais amazônicos para uso como substrato. *Nativa*, v. 2(3), p. 155-161, 2014.

SOUZA, C. D. R., SILVA, K. C. Potencial energético dos resíduos da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.) para produção de carvão ativado. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 2, p. e53310212698, 27 fev. 2021.

SOUZA, R., & TRINDADE, A. A biomassa como solução energética para o estado do Amazonas. In: *10º Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural*, São Paulo, 2015.

TELMO, C. et al. *Proximate analysis, backward calculation of HHV and energy content of forest residues*. *Biomass and Bioenergy*, 34(5), 692–696, 2010

VASCONCELOS, O.V. Estudo das potencialidades da castanha-do-Brasil: produtos e subprodutos. Mestrado em tecnologia bioquímico-farmacêutica. Universidade de São Paulo. São Paulo: 2012.

ZUIN, V.G., RAMIN L.Z. Green and sustainable separation of natural products from agro industrial waste: challenges, potentialities, and perspectives on emerging approaches. *Topics in Current Chemistry (Cham)*, 2018.