



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PARÁ-
CAMPUS CASTANHAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO RURAL E GESTÃO
DE EMPREENDIMENTOS AGROALIMENTARES

KEILA DINIZ CAMPOS

**PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO DE BRIQUETES ECOLÓGICOS A PARTIR DE
RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS**

CASTANHAL
2021

KEILA DINIZ CAMPOS

**PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO DE BRIQUETES ECOLÓGICOS A PARTIR DE
RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS**

Dissertação apresentada ao Curso do Programa de Mestrado Profissional em Desenvolvimento Rural e Gestão de Empreendimentos Agroalimentares do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – Campus Castanhal, como pré-requisitos para obtenção do Título de Mestre em Desenvolvimento Rural e Gestão de Empreendimentos Agroalimentares.

Orientadora: Dra. Maria Regina Sarkis Peixoto Joele
Co-orientador: Dr. Lênio José Guerreiro de Faria

Linha de Pesquisa: Gestão de Empreendimentos Agroalimentares

CASTANHAL
2021

Dados para catalogação na fonte
Setor de Processamento Técnico Biblioteca
IFPA - Campus Castanhal

- C198a Campos, Keila Diniz
Produção e avaliação de briquetes ecológicos a partir de resíduos agroindustriais / Keila Diniz Campos. — 2021.
98 f. + cartilha ([20]p. :il. color.)
- Impresso por computador (fotocópia).
Orientadora: Profa. Dr^a. Maria Regina Sarkis Peixoto Joele.
Coorientador: Prof. Dr. Lênio José Guerreiro de Faria.
Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural e Gestão de Empreendimentos Agroalimentares) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – IFPA, 2021.
1. Biomassa – Abaetetuba (PA). 2. Briquete ecológico – Abaetetuba (PA). 3. Energia da biomassa. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará. II. Título.

CDD: 333.9539098115

KEILA DINIZ CAMPOS

**PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO DE BRIQUETES ECOLÓGICOS A PARTIR DE
RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS**

Dissertação apresentada ao Curso do Programa de Mestrado Profissional em Desenvolvimento Rural e Gestão de Empreendimentos Agroalimentares do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – Campus Castanhal, como pré-requisitos para obtenção do Título de Mestre em Desenvolvimento Rural e Gestão de Empreendimentos Agroalimentares.

Data da Defesa: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA:

Profa. Dra. Maria Regina Sarkis Peixoto Joele
(PPDRGEA/IFPA- Orientadora)

Prof. Dr. Lênio José Guerreiro de Faria
(FEQ/UFPA – Coorientador)

Prof. Dr. Pablo Radamés Cabral de França
(PPDRGEA/IFPA– Membro Interno)

Dra. Elisângela Lima Andrade
(PPGEQ/UFPA – Membro Externo)

Dr. Osnan Lennon Lameira de Silva
(Pós-Doutorando - PPGSAAM/UFPA - Suplente)

Ao meu esposo Dayvid Campos que esteve sempre ao meu lado nos momentos bons e ruins e que foi capaz de suportar todos os meus momentos de estresse durante esse processo. Com muita gratidão no coração por fazer parte da minha vida. Gratidão infinita meu amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, primeiramente, no qual o seu fôlego em mim me deu coragem, saúde e força para superar todas as dificuldades na vida e desta tarefa.

À minha família, que sempre me apoiou, principalmente, meu esposo Dayvid Campos, que foi fundamental como companheiro e parceiro na execução deste projeto.

Aos professores orientadores doutores: Maria Regina Sarkis Peixoto Joele e em especial ao professor Lênio José Guerreiro de Faria, não apenas pelo seu trabalho de orientação, mas principalmente pela competência e exemplo que muito me engradeceram.

À Dra. Elisângela Andrade pela participação com suas contribuições valiosas e por toda a ajuda prestada no laboratório.

À minha companheira de trabalho no IFPA e amiga Leiliane Cristina, por todo o apoio, motivação e compreensão durante essa jornada, das nossas idas à UFPA para realizações das análises e por todos os momentos vivenciados.

Ao meu amigo Osnan Lenon que muito me motivou e me ajudou na construção do projeto para submissão à seleção do mestrado e por todos os momentos de alegria e descontração.

Aos professores do Mestrado em Desenvolvimento Rural e Gestão de Empreendimentos Agroalimentares, que de forma muito singular repassaram o conhecimento e as experiências. Obrigada pelas contribuições.

Agradeço à Cooperativa de Fruticultores de Abaetetuba-COFRUTA pela permissão e confiança para o desenvolvimento da pesquisa e aos cooperados Thiago, Oseias, Claudio, Brito e ao Manoel que foi fundamental por se mostrar atencioso e prestativo nos momentos de uso da caldeira. Minha gratidão a todos.

Agradeço aos colaboradores: Laboratório de Cromatografia do Instituto de Geociências-UFPA, Laboratório de Ensaaios Mecânicos-IFPA, Laboratório de Engenharia Mecânica-UFPA Tucuruí, Laboratório de Óleos da Amazônia-UFPA, Laboratório de Engenharia de Produtos Naturais-UFPA, Laboratório de Análises Físico-Químicas de Alimentos IFPA-Castanhal e ao Laboratório de Operações de Separação-UFPA que muito contribuiu para o desenvolvimento desta pesquisa.

Por fim, obrigada a todos que de certa forma contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

“Elogie em público e corrija em particular. Um sábio orienta sem ofender, e ensina sem humilhar.”

Mário Sérgio Cortella

RESUMO

O objetivo da pesquisa foi determinar a viabilidade de produção e resistência mecânica de briquetes produzidos a partir dos resíduos, caroço de açaí e cascas de cupuaçu e murumuru, gerados na Cooperativa de Fruticultores de Abaetetuba/PA. Nas biomassas dos resíduos, após secagem em secador solar, foram realizadas as análises termogravimétricas, umidade, cinzas, material volátil, carbono fixo e poder calorífico. Os briquetes foram confeccionados em condição de pressão constante (15 toneladas) e material com umidade variando entre 8 a 12% e granulometria de 48, 60, 65 e 80 mesh, foram avaliados três tempos de prensagem (15, 20 e 30 minutos) para cada amostra. Os briquetes produzidos foram avaliados quanto ao tempo de armazenamento, densidade, resistência ao impacto, absorção de água, durabilidade mecânica e queima na caldeira. Os briquetes produzidos com caroço de açaí e casca de cupuaçu apresentaram qualidade satisfatória quanto as características mecânicas, e os briquetes de murumuru apresentaram baixa resistência mecânica, o que era esperado por ser uma biomassa bastante lenhosa, porém com maior poder calorífico comparado as outras biomassas. A novidade da pesquisa é que os briquetes foram produzidos sem a adição de qualquer aglutinante e a utilização de murumuru e cupuaçu como biomassas ainda não testadas para essa tecnologia social. Após a prensagem e tempo de armazenamento de aproximadamente 30 dias os briquetes apresentaram boas condições de propriedades físicas e mecânicas. Somente os briquetes de caroço de açaí foram testados na caldeira da cooperativa, apresentando ser muito eficaz para substituição da lenha convencional. Portanto, pode-se concluir que os briquetes de resíduo de caroço de açaí apresentaram as melhores propriedades físicas e mecânicas enquanto os briquetes dos resíduos de casca de murumuru apresentaram as melhores propriedades energéticas.

Palavras-chave: Biomassa, Brique Ecológico, Agroindústria, Energia alternativa.

ABSTRACT

The objective of the research was to determine the viability of production and mechanical durability of briquettes produced by the residues of açaí kernel and cupuaçu and murumuru husks generated during the processing of these biomasses by the Cooperative of Fruit Growers of Abaetetuba/PA. Thermogravimetric analyzes and preliminary analyzes of moisture, ashes, volatile material, fixed carbon and heating power were performed on these materials after drying in a solar dryer. The briquettes were made in a constant pressure condition (15 tons) with a humidity variation between 8 to 12% w.b. of the material with a variation in the granulometric distribution (48, 60, 65 and 80 mesh) and the use of three pressing times (15, 20 and 30 minutes) for each particle size. The briquettes produced were evaluated for storage time, bulk density, energy density, impact resistance, water absorption, mechanical durability and burning of the briquettes in the boiler. The briquettes produced from açaí kernel and cupuaçu bark were of high quality in terms of mechanical characteristics, while the murumuru briquettes showed low mechanical resistance, which was expected to be a very woody biomass, but with greater heat power in relation to the other biomasses. The novelty of the research is that the briquettes were produced without the addition of any binder, with murumuru and cupuaçu as biomasses not yet tested for this social technology. After pressing and storage time of approximately 30 days, the briquettes showed good conditions of physical and mechanical properties. Only açaí stone briquettes were tested in the cooperative's boiler, proving to be very effective for replacing conventional firewood. It was concluded that the briquettes from açaí stone residue showed the best physical and mechanical properties while the briquettes from the murumuru bark residues showed the best energetic properties.

Keywords: Biomass, Ecological Briquette, Agroindustry, Alternative energy.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Resíduo do caroço de açaí	21
Figura 2. Fruto inteiro do cupuaçu (A), parte da polpa com a semente (B), Casca de cupuaçu misturada com os demais resíduos (C).....	22
Figura 3. Semente de murumuru	23
Figura 4. Decomposição de uma partícula de biomassa evidenciando a decomposição dos principais componentes	26
Figura 5. Diagrama dos processos de transformação de biomassas em energia	28
Figura 6. Produtos da pirólise dos principais componentes da biomassa	29
Figura 7. Exemplo de curvas de DTG de material bruto (curva contínua) e briquetado (curva tracejada)	31
Figura 8. Briquetes de diferentes biomassas	34
Figura 9. Etapas do processamento de briquetes	38
Figura 10. Fluxograma de processo de fabricação do briquete	45
Figura 11. Coleta dos resíduos gerados pela COFRUTA no local de armazenamento	46
Figura 12. Estufa de secagem de alto rendimento construída de policarbonato	47
Figura 13. Secagem das biomassas: caroço de açaí (A) e da casca de cupuaçu (B)...	47
Figura 14. Quebra das cascas de cupuaçu	48
Figura 15. Armazenamento de casca de murumuru: recipiente aberto (A) e em sacarias (B e C).....	48
Figura 16. Trituração das biomassas após secagem: procedimento (A), Casca de cupuaçu triturado (B) e caroço de açaí inteiro (C).	49
Figura 17. Agitador de peneira utilizado para a classificação granulométrica.....	52
Figura 18. Prensa hidráulica (A) e molde (B e C) utilizados na produção dos briquetes.....	54
Figura 19. Armazenamento dos briquetes da casca de cupuaçu para processo de cura.....	55
Figura 20. Medição diametral (A) e longitudinal (B) dos briquetes.....	56
Figura 21. Teste de resistência ao impacto dos briquetes da casca de murumuru nas condições (granulometria, tempo de prensagem, altura da queda): 65mesh/20min./60cm (A) e 65mesh/30min./60cm (B)	57
Figura 22. Teste de absorção de água: antes de ser submerso na água (A) e após ser submerso na água (B)	57
Figura 23. Teste de compressão dos briquetes (A) e disposição do corpo de prova (B e C).....	58
Figura 24. Teste de queima dos corpos de prova dos briquetes. Dispositivo completo (A), controle de temperatura (B), queima dos briquetes no combustor (C), cinzas restante (D)	61
Figura 25. Projeto do combustor usado para a queima dos briquetes.	61

Figura 26.	Briquetes produzidos (A) e lenha pesada (B) para os teste de cozimento das amêndoas de murumuru COFRUTA	63
Figura 27.	Processo de queima dos briquetes.....	64
Figura 28.	Produção de resíduos de caroço de açaí, cascas de cupuaçu e murumuru.	65
Figura 29.	Curva termogravimétrica (TGA)/ termogravimétrica derivada primeiro (DTA) do caroço de açaí (A); cascas de cupuaçu (B) e murumuru (C)..	67
Figura 30.	Comportamento gráfico da expansão longitudinal e diametral para os briquetes produzidos por 15 minutos de prensagem das biomassas em estudo.....	71
Figura 31.	Temperatura (°C) alcançada e consumo de massa dos briquetes ao longo do tempo de queima dos briquetes.....	74
Figura 32.	Relação média da carga mecânica com as condições de empilhamento dosbriquetes.....	76
Figura 33.	Gráfico para deformação (mm) e carga (KN) para os briquetes de caroço de açaí (A) e cascas de cupuaçu (B) e murumuru (C).....	77
Figura 34.	Relação da deformação (mm) pela carga (KN) comparativo dos briquetesproduzidos.....	78
Figura 35.	Média – Briquetes de caroço de açaí (A) e casca de murumuru (B).....	80
Figura 36.	Normalidade - Briquetes de caroço de açaí (A) e das cascas de cupuaçu (B) e murumuru (C).....	80
Figura 37.	Distribuição de resíduos- Briquetes de caroço de açaí (A) e das cascas de cupuaçu (B) e murumuru (C).....	81
Figura 38.	Distribuição de resíduos padronizados- Briquetes de caroço de açaí (A) e das cascas de cupuaçu (B) e murumuru (C)	81

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Comparativo das principais características entre briquete e lenha.....	35
Tabela 2. Comparativo geral entre o briquete e a lenha conforme literaturas pesquisadas.....	36
Tabela 3. Classificação granulométrica da biomassa do caroço de açaí e das cascas de cupuaçu e murumuru	53
Tabela 4. Identificação dos briquetes produzidos de acordo com o tipo de biomassa (A-caroço de açaí, C-casca de cupuaçu e M-casca de murumuru), granulometria (mesh) e tempo de prensagem (tp em minutos).....	54
Tabela 5. Gastos com a aquisição de lenha nos últimos 5 anos.....	66
Tabela 6. Percentual (%) do teor de umidade das biomassas submetidas a secagem solar.....	66
Tabela 7. Média dos valores de Umidade (U%), Material Volátil (MV %), Cinzas %, Carbono Fixo (CF %), Densidade Aparente (DA) e Poder Calorífico (PC) das biomassas adquiridas e lenha utilizada na cooperativa.....	69
Tabela 8. Comportamento da expansão diametral e diametral das variáveis com 2 fatores: biomassa do briquete e granulometria no decorrer do tempo de armazenamento (1º, 7º, 15º e 30º) dias.....	70
Tabela 9. Percentual (%) de massa restante em relação à altura da queda (cm) no teste de resistência ao impacto.	72
Tabela 10. Massa (Kg) de briquete e lenha utilizadas na caldeira.....	74
Tabela 11. Resultado do teste de resistência mecânica e das características de empilhamento dos briquetes.....	75
Tabela 12. Análise de variância da densidade aparente (g/cm ³) dos briquetes obtidos com os resíduos, em função dos tratamentos (granulometria - G) e blocos (tempo de prensagem -TP)	78
Tabela 13. Teste de Tukey para a densidade aparente (g/cm ³) dos briquetes obtidos com os resíduos, em função dos tratamentos (granulometria-G) e blocos (tempo de prensagem-TP).	79
Tabela 14. Testes de homoscedasticidade para as três variedades de briquetes G..	82
Tabela 15. Parâmetros termofísicos dos briquetes, em função dos tratamentos (granulometria) após 10 minutos de prensagem	82
Tabela 16. Densidade energética dos briquetes (DE – GJ/m ³), com as três biomassas em função do tratamento (granulometria), após 10 minutos de prensagem.....	82

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	15
3 REVISÃO BIBLIOGRAFICA	16
3.1 DESENVOLVIMENTO RURAL, ECONOMIA SOLIDÁRIA E TECNOLOGIAS SOCIAIS.....	16
3.1.1 Desenvolvimento Rural	16
3.1.2 Economia Solidária.....	17
3.1.3 Tecnologias Sociais	19
3.2 RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS.....	20
3.2.1 Resíduo do caroço de açaí	21
3.2.2 Resíduo da casca do cupuaçu	22
3.2.3 Resíduo de Murumuru	23
3.3 BIOMASSAS.....	24
3.3.1 Estabilidade térmica dos lignocelulósicos	25
3.3.2 Aproveitamento para fins energéticos	26
3.3.3 Panorama atual do uso de biomassa energética	28
3.3.4 Cinética da pirólise de biomassas	29
3.3.5 Análise Termogravimétrica	30
3.4 ESTADO DA ARTE DA BRIQUETAGEM	32
3.4.1 Histórico, produção e mercado de briquetes no Brasil e no mundo	32
3.4.2 Conceito de briquetagem	33
3.4.3 Principais vantagens do briquete em relação à lenha convencional	34
3.4.4 O processo de briquetagem	37
3.4.5 Interação entre os parâmetros de briquetagem.....	41
3.5 PRODUÇÃO DE BRIQUETES COMO INCENTIVO À SUSTENTABILIDADE	43
4 ABORDAGEM METODOLÓGICA	44
4.1 OBJETOS DE ESTUDO.....	44
4.2 ETAPAS DA PRODUÇÃO DOS BRIQUETES	44
4.2.1 Coleta das biomassas	45
4.2.2 Secagem das biomassas	46
4.2.3 Moagem	49
4.2.4 Análises preliminares das biomassas	49
4.2.5 Determinação da granulométrica	52

4.2.6 Prensagem	53
4.2.7 Estocagem e Armazenamento	55
4.3 ANÁLISES DOS BRIQUETES	55
4.3.1 Determinação do teor de umidade	55
4.3.2 Aferição da Expansão	56
4.3.3 Resistência ao Impacto	56
4.3.4 Teste de Capacidade de Absorção de água	57
4.3.5 Resistência à compressão	58
4.3.6 Densidade Aparente dos briquetes	59
4.3.7 Densidade energética dos briquetes	60
4.3.8 Teste de queima no combustor construído	60
4.3.9 Testes de combustão na caldeira	62
4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	64
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
5.1 MONITORAMENTO DAS ATIVIDADES DE PRODUÇÃO DA COOPERATIVA	64
5.1.1 Geração de resíduos dos últimos 5 anos das biomassas em estudo	65
5.1.2 GASTOS COM A AQUISIÇÃO DE LENHA	65
5.2 SECAGEM SOLAR	66
5.3. ANÁLISES TERMOGRAVIMÉTRICAS	67
5.4 ANÁLISES PRELIMINARES	69
5.5 ANÁLISES DOS BRIQUETES	70
5.5.1 Testes de Expansão Diametral e Longitudinal	70
5.5.2 Resistência ao impacto	71
5.5.3 Absorção de água	72
5.5.4 Teste de queima dos briquetes no combustor e caldeira	73
5.5.5 Teste de resistência à compressão	74
5.6 ANÁLISE DE VARIÂNCIA	78
5.6.1 Densidade aparente dos briquetes	78
5.6.2 Densidade energética dos briquetes	82
6 CONCLUSÃO	83
7 SUGESTÕES	83
REFERÊNCIAS	85
APENDICE I	97

1 INTRODUÇÃO

A agricultura é um setor estratégico da economia brasileira, evidenciando-se tal afirmativa pela produção da agricultura familiar, quanto pela produção e exportação da agroindústria em larga escala para vários continentes do mundo. Esta agricultura eficiente e produtiva foi possível devido aos fatores climáticos, abundância de terras, agregação de tecnologias e escolhas de políticas de desenvolvimento ocorridas no passado (GELINSK & FILIPPI, 2016).

Para os autores existem diversos fatores que caracterizam e conceituam o termo agroindústria baseado conforme os diferentes ramos, contudo de uma maneira geral pode ser definida pela junção de atividades relacionadas ao processamento de matérias-primas provenientes da agricultura, pecuária, aquicultura ou silvicultura visando a obtenção de produtos elaborados com valor final (FILHO & FRANCO, 2015; FAVRO & ALVES, 2020; DA CRUZ, 2020).

Porém, com o desenvolvimento das agroindústrias, ocorrem impactos ambientais no local devido aos resíduos e/ou subprodutos não utilizados ou descartados inadequadamente, o que torna grande o desafio de destinar esses resíduos sem causar danos ambientais (FILHO & FRANCO, 2015; GASPAR et al., 2020).

Estes resíduos ocasionam múltiplos problemas, tais como: poluição dos rios e solos, lixiviação de compostos e proliferação de vetores transmissíveis de doenças, o que acarreta problemas de saúde pública. Desta forma, os setores agropecuários e agroindustriais enfrentam o grande desafio de aumentar a produção e ao mesmo tempo gerenciar a quantidade de seus resíduos gerados de maneira adequada. Sendo necessário encontrar medidas economicamente viáveis e ambientalmente corretas na destinação destes resíduos para diminuir tais problemas, além de agregar valor à matéria-prima, diminuir o custo de produção e melhorar a economia local (GASPAR et al., 2020; FAVRO & ALVES, 2020; ORELLANA et al., 2020).

Dentre as possibilidades de utilização dos resíduos agroindustriais, destaca-se o aproveitamento dos mesmos para queima, no intuito de gerar energia para as caldeiras e distribuir calor em determinados sistemas dentro das agroindústrias. Pois, em geral, são biomassas com bom potencial energético, que podem ser transformados em briquetes, devido possuírem altas quantidades de carbono fixo, o que favorece a queima para geração de energia (BURKOT & AHRENS, 2015; CAMPOS & DE GALIZA, 2016; BORGES et al., 2017; ORELLANA et al., 2020).

O processo de fabricação de briquetes ocorre a partir da compactação de resíduos lignocelulósicos oriundos de agroindústrias, por meio da quebra natural das fibras, favorecendo

o armazenamento de energia. O processo de briquetagem irá definir tamanho e formato dos blocos, que variam de acordo com o equipamento utilizado.

O produto formado possui grandes vantagens em relação ao uso da lenha, devido o armazenamento e transporte mais fácil, além de possuir alto poder de combustão em função do maior poder calorífico e baixo teor de cinzas o que favorece o meio ambiente, pois gera menos poluição e mais energia (QUIRINO & BRITO, 1991; BURKOT & AHRENS, 2015; DA COSTA, 2018; BAJWA et al., 2018).

A produção de briquetes ecológicos, é uma alternativa para promover energia renovável através mecanismos alternativos que viabilizem a reutilização e transformação de resíduos descartados pelas unidades processadoras de alimentos, evitando o uso da madeira.

O investimento em inovação tecnológica é muito importante, principalmente visando viabilizar o desenvolvimento rural e sustentável, preservando e conservando o meio ambiente como forma de contribuir para a qualidade de vida, conforme disposto no seguinte dispositivo constitucional da nossa carta magna, no seu artigo 225: “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (CF/88).

Diante disso, estudos que visem promover o desenvolvimento de briquetes ecológicos são amplamente necessários, para que as agroindústrias possam continuar o seu processo produtivo, reduzindo custos na produção e diminuir os impactos ambientais ocasionados por tal atividade.

2 OBJETIVOS

GERAL

Avaliar o potencial energético de resíduos gerados no processamento de frutas e oleaginosas a partir da produção de briquetes como fonte de energia alternativa para uma agroindústria localizada no município de Abaetetuba/Pará.

ESPECÍFICOS

- Caracterizar o potencial energético das biomassas vegetais oriundas do processamento agroindustrial;
- Estimar diferentes granulometrias e tempo de prensagem para a produção dos briquetes;
- Produzir e avaliar a resistência mecânica de briquetes com diferentes biomassas;
- Testar os briquetes produzidos na caldeira utilizada pela agroindústria.

3 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

3.1 DESENVOLVIMENTORURAL, ECONOMIA SOLIDÁRIA E TECNOLOGIAS SOCIAIS

3.1.1 Desenvolvimento Rural

Não podemos falar em desenvolvimento rural sem antes falar da chamada “revolução verde”, processo de modificação dos processos de produção agrícola com a inclusão de novas tecnologias voltadas para uma maior racionalização da produção e novos modelos de produção.

A revolução verde surge no contexto pós-guerra, a partir da década de 50, com a implantação de insumos, maquinários, agrotóxicos ligados a indústria química, além de um discurso de melhoria de qualidade de vida e geração de empregos no campo; todavia o que assistimos não foi isso. Pois a revolução verde intensificou as desigualdades sociais e concentração fundiária, haja vista que foi priorizada a monocultura voltada para o abastecimento do mercado externo, deixando em segundo plano os pequenos produtores rurais que não conseguiram se adaptar a este novo paradigma de desenvolvimento (NAVARRO, 2001; RESENDE & MAFRA, 2016; LOBÃO & STADUTO, 2018).

Após a Segunda Guerra, a partir da década de 50 até final dos anos 70, vivemos uma polarização criada pela Guerra Fria e seus antagônicos modelos de sociedade, além do impacto do crescimento econômico da época, que materializou um padrão civilizatório hegemônico, trazendo mudanças no modo de vida e os comportamentos sociais. Nesse período a ideia de desenvolvimento cativou esperanças e estimulou várias iniciativas em todas as sociedades, aquecendo o debate sobre o desenvolvimento rural, fazendo parte da agenda governamental de muitos países, principalmente dos mais desenvolvidos da intervenção no meio rural do Brasil e de outros países na América Latina, com a vigência da ideologia da “revolução verde”, que priorizava ações de intervenção dirigidas e orientadas, vistas como a solução para os agricultores que poderiam fornecer tecnologias, equipamentos e insumos, além de criar laço comercial (NAVARRO, 2001); SCHINEIDER, 2010; PINTO & CORONEL, 2015).

A lógica do desenvolvimento rural sempre foi superar os modelos atrasados, ocorre que nas regiões rurais pobres não se conseguiu tal integração, forçando uma atuação mais presente de agentes estatais e internacionais (MACIEL et al., 2018).

Assim, a partir deste contexto, ocorre a implantação de uma lógica que não conseguiam se modernizar tecnologicamente e nem se integrar ao conjunto da economia através da indústria, comércio e serviços. Ou seja, essa política de desenvolvimento não levou em consideração as peculiaridades e particularidades de vários atores envolvidos na realidade do meio rural

brasileiro, principalmente o pequeno produtor rural que não se encaixou no paradigma desenvolvimentista que diretamente mercantilizou a vida social.

Desta forma o desenvolvimento rural perpassou por um modelo de padrão tecnológico que rompeu com técnicas e ferramentas passadas, impondo no meio rural uma nova forma de racionalidade produtiva, impactando no modo de vida e comportamentos, logo o mundo rural (e as atividades agrícolas) passou a subordinar-se a novos interesses, classes e formas de vida e de consumo, majoritariamente urbanas (NAVARRO, 2001; SCHINEIDER, 2010; TRICHES & SCHNEIDER, 2015).

A partir da década de 90 um novo debate começa a ser traçado sobre a questão do desenvolvimento rural, modificando-se radicalmente, pois nas pautas de discussões acadêmicas, governamentais e institucionais surgem debates acerca dos limites do desenvolvimento e seus impactos ambientais, chegando a se falar na impossibilidade do desenvolvimento (NAVARRO, 2001; SCHINEIDER, 2010). Com a globalização e a inquietude social e política gerada pela disseminação da desesperança com relação ao futuro é que, de fato, se fortaleceu o crescente interesse pelo tema do desenvolvimento.

Nos últimos anos o desenvolvimento rural vem sofrendo transformações significativas na sua concepção. Não pode mais ser visto apenas do ponto de vista do setor produtivo rural e criador de excedentes para a comercialização no mercado global. Novos processos surgem como incentivo à produção de bens coletivos, a integração sustentável com ecossistemas locais, a promoção de economias de escopo sobre as economias de escala, assim como o desenvolvimento de atividades pluriativas pelas famílias rurais (LOBÃO & STADURO, 2018).

Neste sentido, os debates sobre desenvolvimento rural no Brasil, atualmente tem que ter como elementos base: a agricultura familiar e seu potencial como modelo social, econômico e produtivo para a sociedade brasileira; a crescente influência e ação do Estado no meio rural e mudanças no âmbito político e ideológico. O desenvolvimento rural, pelo que vimos, edificou as bases da grande agroindústria no Brasil que atualmente tem uma grande produção e alta geração de resíduos, que gera uma preocupação com relação a sustentabilidade e manutenção da vida no planeta.

3.1.2 Economia Solidária

Na atual conjuntura, a partir da crise do sistema capitalista, as organizações coletivas de trabalhadores vêm ganhando espaço, pois ainda mais são expostas as contradições de um sistema que exclui milhares de pessoas e forma um grande exército de reserva, aumentando muito a disparidade entre as classes sociais.

Para se opor as explorações, as organizações coletivas têm como objetivo a geração de trabalho e renda de forma coletiva e cooperada, onde o meio de produção não está concentrado nas mãos de um dono / proprietário, mas que os próprios trabalhadores são ao mesmo tempo proprietários dos meios de produção e produtores de mercadorias e riquezas.

Um ponto relevante da economia solidária refere-se a sua realização prática que prima pelo princípio da solidariedade a partir de ações igualitárias pelos que se associam para produzir, comercializar, consumir ou poupar (MEDEIROS et al., 2017). A base ideológica dessa proposta é a associação entre os semelhantes, pois na cooperativa todos os cooperados têm a mesma parcela do capital e o mesmo direito de voto em todas as decisões evidenciando o princípio básico, sem hierarquia e exagero de poder (SINGER, 2002).

Cabe destacar que a economia solidária é um outro modo de produção que se opõe ao capitalismo, sendo uma alternativa, pois a propriedade dos meios de produção é coletiva, assim como o produto final da atividade econômica, formando-se uma classe de trabalhadores que são possuidores de capital de igual valor resultando em solidariedade.

Hoje, as características citadas anteriormente podem ser percebidas em organizações socioeconômicas que promovem a cooperação entre trabalhadores ou produtores autônomos e familiares em áreas urbanas e rurais, nos chamados empreendimentos econômicos solidários, sob a forma de cooperativas populares, associações de pequenos produtores, grupos informais e redes de cooperação (DA SILVA, 2014; SILVA & FILHO, 2018; FERNANDÉZ, 2019).

Essas práticas de valores estão presentes em organização da produção e da vida de povos e comunidades tradicionais, resgatadas em lutas históricas de resistência de trabalhadores no início do século XIX, sob a forma de cooperativismo, contra um modo de produção que mantém a exploração do trabalho como base da acumulação de capital e explora a natureza como fonte inesgotável de recursos (DA SILVA, 2014; LOPES, et al., 2016).

A economia solidária, no Brasil, ressurgiu nas últimas décadas do século XX, a partir do processo de redemocratização política do país, quando os movimentos sociais ampliaram suas capacidades organizativas, reivindicativas e propositiva, uma alternativa ao modelo hegemônico (DA SILVA, 2016). Com o advento do regime democrático no país, as garantias constitucionais de livre expressão, organização política, sindical e solidificação de instituições democráticas surgem alternativas aos modelos de desenvolvimento hegemônicos (MEDEIROS & TEXEIRA, 2018).

Atualmente, o cooperativismo agropecuário no Brasil tem se mostrado como uma alternativa para se opor a grandes indústrias e facilitar a inserção dos produtos dos pequenos agricultores no mercado e, dessa forma, melhorar as suas condições de vida, por meio dos

serviços e da solidariedade dos membros (DE MELO & SCOPINHO, 2018; DREBES & SPANEVELLO, 2017). Essa oposição se dá por meio da agricultura familiar que se caracteriza pelo cultivo da terra, realizado por pequenos proprietários rurais, tendo como mão de obra o núcleo familiar, ao mesmo tempo em que são mantidos valores e tradições (FARIÑA et al., 2017; DREBES & SPANEVELLO, 2017).

3.1.3 Tecnologias Sociais

Tecnologia não é um conceito novo, remonta o período da revolução industrial, no final do Século XVIII e tem se expandido e generalizado para muitas áreas do conhecimento, não só aos relativos a produção industrial (ASSIS & LUCENA, 2018).

Nem toda tecnologia necessita ser complexa e cara para ser usada. As tecnologias sociais visam a promoção e inclusão, materializadas por meios de cooperativas e associações. E o seu objetivo principal é a transformação da sociedade, da realidade e da melhoria da qualidade de vida das pessoas (MENDES et al., 2015).

Tecnologia social se opõe ao conceito de tecnologia convencional, baseada na forma excludente de desenvolvimento. Este tipo de tecnologia está intimamente ligado ao sistema industrial de tal forma que os melhores ganhos e condições materiais concentram-se nas mãos de poucos, excluindo uma maioria. Desta forma, é conveniente dizer que a tecnologia social é a mais acessível para a equidade social no campo.

As Tecnologias Sociais seriam uma forma de uso de conhecimentos e inovações tecnológicas para a promoção, inclusão e melhor desconcentração de renda. Logo, devem ser vistas de forma ampla, como o resultado da aplicação de conhecimentos e inovações para a solução de problemas do dia a dia.

A partir das décadas de 60 e 70, diversas propostas e concepções tecnológicas genericamente denominadas tecnologias apropriadas foram desenvolvidas como alternativas às tecnologias em uso nos países desenvolvidos, e transferidas para os demais, principalmente por meio das empresas multinacionais (RODRIGUES; BARBIERI; 2008). Um dos méritos desse movimento foi discutir a tecnologia dentro de considerações mais amplas do que a abordagem dominante, permeada por avaliação econômica e técnica realizada sob a ótica do capital. Com as sequelas deixadas em termos de exclusão social e degradação ambiental, o movimento ressurgiu, agora sob a denominação de tecnologias sociais, com amplo apoio de agências das Nações Unidas, de governos e de parte da sociedade civil.

Atualmente, um dos conceitos de tecnologia social em alta é o que compreende produtos, técnicas ou metodologias replicáveis, desenvolvidas na interação com a comunidade

e que representem efetivas soluções de transformação social (RODRIGUES; BARBIERI, 2008). Segundo Fernandes & Maciel (2010) as Tecnologias Sociais vêm sendo discutidas no Brasil, nesta primeira década do século XXI, por diferentes atores sociais, e vem se constituindo como uma das respostas possíveis para o atendimento das demandas sociais.

Bastante oportuno mencionar que, em linhas conceituais, as Tecnologias Sociais sempre consideram as especificidades das realidades locais e que estão diretamente relacionadas aos processos de organização coletiva e democrática, acabam, portanto, representando soluções para a superação de diferentes situações problemáticas de vulnerabilidade e exclusão social, incidindo, assim, na melhoria das condições de vida daqueles atores envolvidos. Na ótica de Novaes & Dias, as Tecnologias Sociais têm as seguintes características:

Ser adaptada a pequenos produtores e consumidores; não promover o tipo de controle capitalista, segmentar, hierarquizar e dominar os trabalhadores; ser orientada para satisfação das necessidades humanas (...); incentivar o potencial e a criatividade do produtor direto e dos usuários; ser capaz de viabilizar economicamente empreendimentos como cooperativas populares, assentamentos de reforma agrária, a agricultura familiar e pequenas empresas (NOVAES & DIAS, 2009, p.18-19).

Diante do exposto, a produção de briquetes a partir de resíduos de uma indústria de polpas de frutas configura-se como uma tecnologia social, pois inova e gera um impacto negativo no meio ambiente, com resposta inovadora para as demandas sociais, repercutindo de forma positiva nas comunidades que se beneficiam com tal tecnologia.

3.2 RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

Os resíduos oriundos das unidades beneficiadoras de alimentos, as agroindústrias, de uma forma geral, incluem os subprodutos resultantes do processamento de alimentos de origem vegetal e animal ou obtidos através das atividades agrícolas (BURKOT & AHRENS, 2015; ALMEIDA et al., 2017; DA COSTA, 2018).

Pouco valor econômico é atribuído a eles, muitas das vezes pela própria agroindústria que não busca alternativas de uso dessas biomassas, como é caso das palhas, caule, folhas, caules, caroços, cascas, semente e polpas de legumes e cereais (sorgo, arroz, batata, cevada) entre outros que de certa forma tornam-se um passivo ambiental para as empresas (BURKOT & AHRENS, 2015; GAETE et al., 2020).

Os resíduos agroindustriais de origem vegetal, em geral, apresentam em sua composição celulose, hemicelulose e lignina e revelam-se promissores ao aproveitamento, dado o potencial de sua composição promissor que são diretamente aplicados ao campo como adubos, substratos,

fertilizantes ou mesmo como fontes energéticas aproveitáveis (PADILLA et al., 2016; ORELLANA et al., 2020).

3.2.1 Resíduo do caroço de açaí

Segundo (Kuhl & De Oliveira, 2019) e Martins et al. (2020) a produção agrícola nacional do fruto açaí (*Euterpe oleracea* Mart) em 2017 conforme dados do IBGE chegou a um total de 219.885 toneladas e que quantidade resíduo gerado neste ano foi de 182.505 toneladas. Evidenciando desta forma que o resíduo representa em torno de 85%.

Quanto a produção de açaí no estado do Pará em 2017, a mesma foi de 141.913 toneladas, totalizando 117.788 t de resíduos gerados, na forma do caroço de açaí. Os principais municípios produtores são: Igarapé Mirim, Abaetetuba, Cametá, Limoeiro do Ajuru e Bujaru destacando Igarapé Mirim como o maior produtor representando 28% do total do país (ALMEIDA et al., 2017; KUHLE & DE OLIVEIRA, 2019; MENDES et al., 2020).

Em relação ao beneficiamento, o governo recentemente concedeu incentivos fiscais (redução do IPI) à verticalização dessa cadeia produtiva, buscando maior agregação de valor ao produto no Pará. Porém, do beneficiamento do fruto, apenas 15% do fruto corresponde à polpa e os 85% restante são caroço e fibras, normalmente descartados como “rejeito orgânico” (ALMEIDA et al., 2017). A Figura 1 representa os resíduos de caroço de açaí gerados pela cooperativa.

Figura 1. Resíduo do caroço de açaí.



Fotografia: Keila Campos (2020).

Normalmente, as beneficiadoras, após o processamento, separam os caroços (Figura 1) e depositam nas proximidades do local de venda ou das unidades processadoras, onde são recolhidos pelo serviço de limpeza pública ou empresa terceirizada (ALMEIDA et al., 2017; MENDES et al., 2020).

Este resíduo é utilizado nas propriedades rurais para adubação e a geração de energia na forma de peletes e briquetes, como alternativa para uso doméstico e nas atividades agroindustriais por apresentar vantagens na queima primária devido ao alto teor de celulose e lignina, baixa emissão de gases, poder calorífico elevado, entre outros. Além de oferecer baixo custo de operação nos processos de transformação (MESQUITA et al., 2018; DA COSTA, 2018; SATO, 2018).

3.2.2 Resíduo da casca do cupuaçu

O cupuaçuzeiro (*Theobromagrandiflorum*) é uma frutífera da floresta tropical pertencente ao mesmo gênero de cacau (*Theobromacacao*). A árvore é bastante comum em toda a região amazônica sendo o exocarpo subproduto resultante do processamento ou consumo do fruto normalmente consumido na forma de suco e geleias. Desponta como uma das fruteiras mais importantes para o desenvolvimento da agricultura na região Amazônica brasileira, por apresentar dupla aptidão (fornecimento de polpa e sementes), sendo esta última representar 20% do fruto, e mercado em expansão para o consumo de seus produtos pelas indústrias de alimentos, bebidas e cosméticos (RECANATI et al., 2018; PAZDIORA, et al., 2020).

O Estado do Pará tem a maior área plantada de cupuaçuzeiros no País, 12 mil hectares, e o município de Tomé Açu desponta como o maior produtor, seguido por Moju, Acará e Bujaru, responsáveis por 71% da produção paraense (SEDAP/PA, 2016).

Figura 2. Fruto inteiro do cupuaçu (A), parte da polpa com a semente (B), Casca de cupuaçu misturada com os demais resíduos (C).



Fotografia: Keila Campos (2020).

Pesquisas recentes têm demonstrado a possibilidade de obtenção de novos produtos, ampliando o leque dos já existentes e contribuindo para o aproveitamento mais eficiente do fruto. Porém, conforme aumenta a demanda pelos produtos a partir do cupuaçu também aumenta a produção de resíduos e insumos decorrentes da casca do fruto. A casca de cupuaçu algumas vezes é utilizada como adubo e poucas pesquisas têm sido realizadas quanto ao seu aproveitamento para fins energético (LÓPEZ, 2015; NASCIMENTO et al., 2017; COELHO & GARCILASSO, 2018).

Da casca do cupuaçu têm sido realizados estudos que apontam com grande potencial como fonte de energia para alimentar gaseificadores ou na forma de briquetes além de apresentar alto poder calorífico, apresenta-se como insumo energético, pois devido à ausência de celulose e hemicelulose sua combustão não produz alcatrões (COELHO & GARCILASSO, 2018; OLIVEROS et al., 2019).

3.2.3 Resíduo de Murumuru

O murumuru (*Astrocaryum murumuru* Mart.) é uma palmeira que pertence à Amazônia brasileira, comumente encontrada em áreas de inundações periódicas, principalmente nas ilhas, nos estuários e córregos do rio Amazonas. É considerada uma oleaginosa, e seus frutos são muito utilizados na indústria cosmética (PESCE, 2009; LIMA et al., 2017; ARANHA & LOBÃO, 2018). A Figura 3 apresenta a semente de murumuru inteira armazenadas pela cooperativa.

Figura 3. Semente de murumuru.



Fotografia: Keila Campos (2020).

O murumuru contém principalmente polpa, 53% da sua composição, geralmente de coloração amarelo intenso quando maduro. Esta oleaginosa contém uma parte lenhosa e

somente no estado seco, é possível separar a casca da amêndoa que é composta de 40 – 42% de uma gordura esbranquiçada (PESCE, 2009; LIMA et al., 2018). Poucos estudos têm sido realizados quanto ao aproveitamento da parte lenhosa da fruta, que regionalmente costuma-se ser chamada de casca. As literaturas encontradas citam estudos do aproveitamento do resíduo da amêndoa prensada, denominado torta residual, para o aproveitamento energético bem como o óleo com propriedades físicas e químicas com potencial para produção de biodiesel e indústria cosmética (LIMA et al., 2018; LOPES et al., 2019).

A análise do potencial da matéria-prima para uso em combustão direta ou conversão em combustíveis mais eficientes como carvão, briquete ou biogás requer estudos mais aprofundados quanto a suas características térmicas bem como a otimização desse material para a produção de bicomcombustíveis.

3.3 BIOMASSAS

Biomassa é qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica. Podendo ser de origem vegetal: florestal (madeira, principalmente), agrícola (soja, arroz e cana-de-açúcar, entre outras) e rejeitos urbanos e industriais (sólidos ou líquidos, como o lixo) e de origem animal. Porém, as biomassas de origem animal ainda são muito incipientes no mundo devido à falta de usinas com capacidade geradora de energia, o que não acontece com a produção energética à base da biomassa vegetal (TAVARES & TAVARES, 2015; LISOWSKI et al., 2019).

A biomassa de origem vegetal é composta principalmente por celulose, lignina e hemicelulose, além de pequenas quantidades de outros produtos químicos que não estão ligados à essas moléculas maiores no qual são referidos como extrativos. Ainda segundo os autores, em geral, as composições das biomassas são caracterizadas por conterem em torno de 40-50% de celulose e sua segunda maior fração cerca de 20-40% de hemicelulose com saldo restante em lignina (BAJWA et al., 2018; BARSKOV et al., 2019).

Para Baroni (2015) a celulose e a lignina são fatores determinantes na identificação adequada da biomassa como fonte energética; porém a hemicelulose por apresentar uma estrutura randômica e ramificada, amorfa e de baixa rigidez contribui para melhor caracterização das biomassas.

A biomassa é uma das fontes para produção de energia com maior potencial de crescimento nos próximos anos (OKOT; BILSBORROW; PHAN, 2018). Tanto no mercado internacional quanto no interno, ela é considerada uma das principais alternativas para a

diversificação da matriz energética e a consequente redução da dependência dos combustíveis fósseis (ANEEL, 2017; BAJWA et al., 2018).

Os derivados obtidos ao mesmo tempo a cuidadosa seleção da biomassa bem como o seu correto tratamento são fatores importantes à exploração da biomassa (cujo potencial energético varia para cada tipo) e da tecnologia de processamento para obtenção dos energéticos (LISOWSKI et al., 2019; LUBWAMA & YIAGA, 2018; KYLILI et al., 2018).

3.3.1 Estabilidade térmica dos lignocelulósicos

Segundo vários autores as biomassas lignocelulósicos apresentam em sua composição uma mistura complexa de celulose, hemicelulose e lignina, além disso, as matérias-primas de biomassa contêm pequenas quantidades de outros produtos químicos que não estão amarrados nessas moléculas maiores que são freqüentemente referidos como extrativos. Os mesmos autores relatam em suas pesquisas a importância o entendimento da estabilidade térmica desses componentes para fornecer o comportamento térmico da biomassa como um todo (QUIRINO, 1991; BARONI, 2015; GONZÁLEZ-GARCÍA, 2018; YANG et al., 2019; BARSKOV et al., 2019).

Para os autores González-García (2018) e Lubwana & Yiaga (2018) a composição de biomassas lignocelulósicas é influenciada pela localização geográfica uma vez que diferentes condições hidrogeológicas, espécies de plantas, origem, condições climáticas, qualidade, idade das plantas de uma região par outra implicam nas suas propriedades físicas variam.

A celulose é o biopolímero natural renovável mais abundante naterra e está presente em uma ampla variedade de espécies vivas, incluindo plantas, animais e algumas bactérias. Ela representa o principal constituinte das fibras naturais; contudo, maior parte da biomassa lignocelulósica consiste em 17-77% (GONZÁLEZ-GARCÍA, 2018) ou de 40-50% (YANG et al., 2019) de celulose.

Segundo Baroni (2015) em suas citações relata que as longas cadeias formadas por esse polímero ligam-se umas às outras por uma longa rede de ligações de hidrogênio o que lhe confere uma estabilidade térmica maior que da hemicelulose.

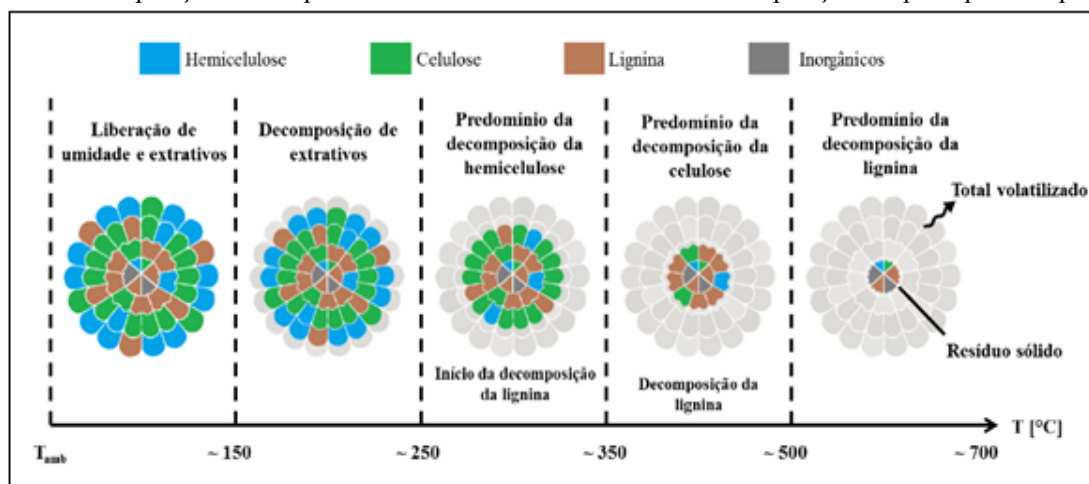
A hemicelulose, localizada nas paredes celulares secundárias, é o segundo principal componente em fibras naturais (20-40%), por causa da sua desordem e ramificação bem como seu baixo peso molecular, liga-se de forma não covalente às microfibrilas celulósicas presentes na parede celular da biomassa, o que torna a hemicelulose menos termicamente estável que a celulose facilitando a sua hidrólise. Em bagaço seu conteúdo chega a 53,76% (BARONI, 2015; GONZÁLEZ-GARCÍA, 2018).

A lignina é um polímero bioquímico, resina, compeltamente amorfa e hdrofóbica, o que significa que ela não absorve água e que forma ligações de hidrogênio cruzadas e irregulares. Apresenta alta peso molecular além de fornecer resistência estrutural e vedação da água que liga as raízes às folhas protegendo as plantas da degradação. O teor de lignina exerce papel fundamental na ligação de aglomerado, contanto que a temperatura suficiente seja atingida (BARONI, 2015; LISOWSKI et al., 2019; GENDEK et al., 2018).

Considerando muitos estudos termogravimétricos de madeiras e biomassas em geral, os autores apresentaram uma faixa de decomposição dos componentes lignocelulósicos dentro do intervalo de: hemicelulose (190°C a 350°C), celulose (250°C a 500°C) e a lignina (250°C a 700°C), considerando as particularidades de cada biomassa (BARONI, 2015; LISOWSKI et al., 2019; GENDEK et al., 2018; BARSKOV et al., 2019; GANGIL & BHARGAV, 2019).

A Figura 4 ilustra a decomposição de uma partícula sólida de biomassa em função das diferentes faixas de temperatura, no qual observa-se que a hemicelulose decompõe-se principalmente entre 250 – 350°C, a celulose entre 350 – 500°C, enquanto que a lignina apresenta um intervalo bem mais amplo, entre 250 – 700°C (BARONI, 2015).

Figura 4. Decomposição de uma partícula de biomassa evidenciando a decomposição dos principais componentes.



Fonte: Baroni (2015).

3.3.2 Aproveitamento para fins energéticos

A exploração de biomassa com a finalidade para produção energética se popularizou nos últimos anos, assim como recebeu críticas quanto ao seu uso para esses fins. No entanto, estudos científicos têm surgido continuamente fornecendo evidências de vários tipos de biomassa com potencial energético considerável (KYLILI et al., 2016; OKOT; BILSBORROW; PHAN, 2018; GANGIL & BHARGAV, 2019).

De acordo com Ministério do Meio Ambiente (2018) o uso de biomassa para energia é uma das alternativas mais promissoras em curto prazo, visto que é uma fonte de energia renovável, que já está disponível e que pode substituir os combustíveis fósseis, gerando emissões muito baixas, em aplicações que requerem alta temperatura (geração de eletricidade, sinterização, fusão, calcinação, etc.).

A biomassa é biodegradável e livre de CO_2 (OKOT; BILSBORROW; PHAN, 2018) e não gera resíduos contaminantes de alto risco por estar disponível em quase todos os lugares, minimizando a distância de transporte e reduzindo o custo monetário. O uso de biomassa para energia promove a criação de cadeias de valor locais, gera muitos empregos e alavanca o desenvolvimento regional, a sua comercialização transfere renda das indústrias e dos consumidores urbanos para o campo e produtores rurais. (RODRIGUES et al., 2017; NAKASHIMA et al., 2017; BAJWA et al., 2018).

Existem várias técnicas para transformar matéria-prima em produtos energéticos. Cada uma dá origem a determinado produto, em um nível diferente, do ponto de vista tecnológico. Por exemplo, a combustão direta para obtenção do calor, que ocorre em fogões (cozimento de alimentos), fornos (metalurgia) e caldeiras, para a geração de vapor (TAVARES et al., 2015; RODRIGUES et al., 2017; SHUMA & MADYIRA, 2017).

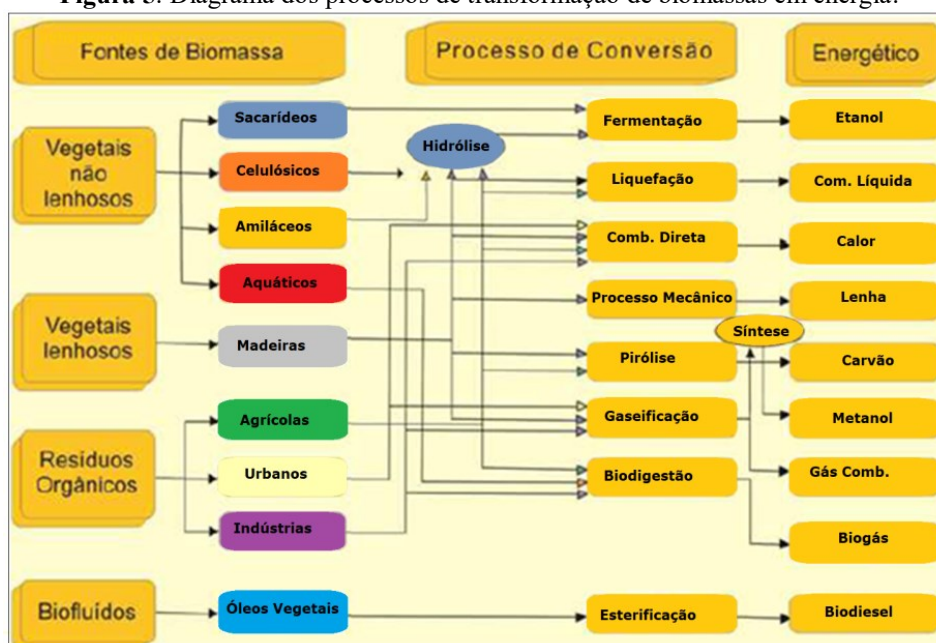
Outra opção é a pirólise ou carbonização – o mais antigo e simples dos processos de conversão de um combustível sólido (normalmente lenha) em outro de melhor qualidade e conteúdo energético (carvão).

O processo de densificação de biomassa usa quantidades relativamente pequenas de energia para aumentar a massa e a densidade de energia. Isso, por sua vez, reduz o custo de transporte até o ponto de uso, e se feito com cuidado, pode melhorar as suas propriedades, tornando-as mais eficazes para a produção de energia (NAKASHIMA et al., 2017; BAJWA et al., 2018).

Nesse contexto, entender as propriedades da biomassa são essenciais para o conhecimento e adequada aplicabilidade de diferentes matérias-primas. Entre estas, pode-se citar, densidade, teor de umidade, granulometria, teor de cinzas e de voláteis, carbono fixo, expansão longitudinal, resistência à compressão. Cada propriedade estudada torna-se um ponto relevante para a destinação final do material estudado como combustível (QUIRINO, 1991).

A Figura 5 apresenta diferentes métodos de processamento e transformação de biomassas, que podem ser realizadas a partir da queima direta, com ou sem processos físicos de secagem, densificação, corte/quebra, etc. e de processos termoquímicos (gaseificação, pirólise, liquefação e transesterificação).

Figura 5. Diagrama dos processos de transformação de biomassas em energia.



Fonte: ANEEL (2011).

3.3.3 Panorama atual do uso de biomassa energética

Para os mercados internacionais, o uso de bicomcombustíveis sólidos se destaca para a geração de eletricidade, calor industrial e aquecimento residencial. As principais regiões que dependem da biomassa para produzir calor industrial são Ásia e América do Sul. E os exportadores globais dominantes são Estados Unidos e Canadá, seguido pela Suécia, Alemanha e Federação Russa (BAJWA et al., 2018).

De acordo com o Boletim Mensal de Energia elaborado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), dados de dezembro/2016, a biomassa voltou a ser a segunda fonte de geração de energia mais importante do Brasil na Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE), toda a energia necessária para movimentar a economia apresentou um registro de 8,8% em 2016, superando os 8,1% de participação.

O conhecimento das demandas e ofertas atuais, além dos potenciais da biomassa é básico para planejar o uso da terra e da energia, bem como, de uma forma geral, para desenhar políticas de desenvolvimento sustentável que façam frente aos desafios colocados pela necessidade de obter energia limpa, acessível e renovável e também reduzir as emissões de gases de efeito estufa. A representatividade da biomassa só não é maior na matriz energética brasileira porque os resíduos de maior volume e com relevante potencial energético os agrícolas, na sua maior parte são destinados para alimentação humana e animal e o que sobra é inviável comercialmente devido aos custos de transporte do material (BRASIL, 2018).

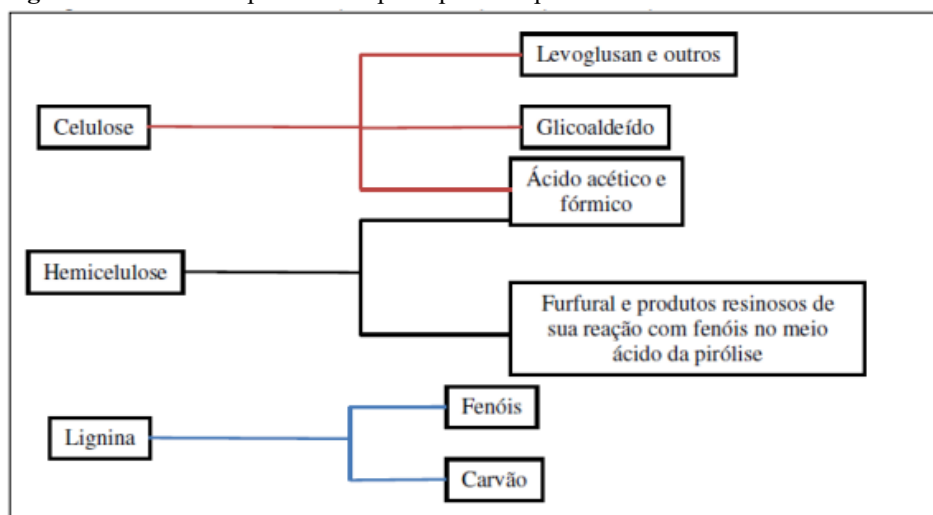
O relatório do primeiro semestre de 2018 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o Brasil conta com 41,2 % da oferta interna de energia provinda de fontes energéticas

renováveis. No entanto, conforme informações divulgadas pela Agência Internacional de Energia que trabalha com o chamado Cenário 2°C (2DS), os estudos apontam a limitação do aumento da temperatura global em 2 °C, uma trajetória de emissão consistente com uma probabilidade de ao menos 50% de a temperatura média global atingir no máximo 2°C. Para evitar isso o Brasil necessita que aproximadamente 70% de sua matriz seja de fontes renováveis em 2050 (NAKASHIMA et al., 2017; CBIC, 2017).

3.3.4 Cinética da pirólise de biomassas

A pirólise de biomassa é um processo de conversão termoquímico fundamental que tem importância industrial e ecológica, provocando o rompimento das moléculas e transformando-as em menor tamanho de corrente na ausência parcial ou total de oxigênio, semelhante ao processo de gaseificação, em altas temperaturas, produzindo assim outras substâncias com maior conteúdo energético. O conhecimento da biomassa em estudo também é essencial, pois cada material pirolisado exibe características particulares que dependerá muito da diversidade, heterogeneidade dos seus constituintes, o que implica grande complexidade no comportamento cinético dos processos de pirólise, já que essas podem desviar consideravelmente do comportamento cinético de reações elementares. Todavia, sabe-se que o rendimento do processo está intimamente ligado com a decomposição de seus constituintes majoritários isolados (hemicelulose, celulose e lignina), apesar dos efeitos sinérgicos existentes entre eles durante o processo pirolítico (BARONI, 2015; COUTINHO, 2018). A figura 6 traz uma adaptação citada por Coutinho (2018) do produto pirolisado resultante da composição de cada biomassa.

Figura 6. Produtos da pirólise dos principais componentes da biomassa.



Fonte: Adaptado segundo Coutinho (2018).

Avaliações da cinética e mecanismos de conversão de biomassa termoquímica são essenciais para obter algumas informações importantes que podem ser úteis para otimização de parâmetros e projeto de reatores termoquímicos. Na aplicação desses modelos, a termogravimetria (TG) e a calorimetria diferencial de varredura (DSC) são duas técnicas simples, confiáveis e amplamente usadas para avaliar os parâmetros cinéticos e outros parâmetros de reação de materiais energéticos, incluindo biomassa. São duas técnicas simples, confiáveis e amplamente usadas para avaliar os parâmetros cinéticos e outros parâmetros de reação de materiais energéticos, incluindo biomassas (WHANG et al., 2017; HU et al., 2018; COUTINHO, 2018).

3.3.5 Análise Termogravimétrica

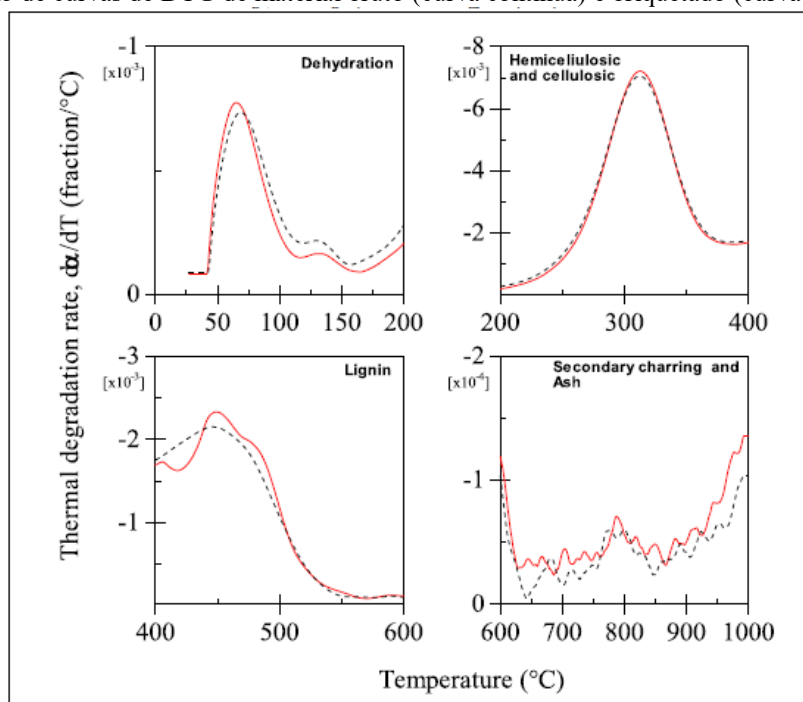
A termogravimetria ou análise termogravimétrica (TG) é uma técnica analítica mais utilizada para investigar e comparar o comportamento térmico durante a pirólise de pequenas amostras de biocombustíveis e mensurar a quantidade remanescente da massa de uma amostra em função do tempo ou da temperatura quando essa é termicamente degradada em uma atmosfera controlada. A TG fornece dados da massa remanescente, enquanto que sua derivada primeira (DTG) fornece a máxima taxa de decomposição (GARCIA et al. 2016; GANGIL & BHARGAV, 2019).

A análise de TGA pode ser realizada em atmosfera de oxidante, podendo-se chegar à combustão restando somente cinzas no final do processo, mas também pode ser realizada em atmosfera inerte (N_2 ou CO_2), sem combustão, mas com desprendimento de umidade e voláteis (GARCIA et al. 2016; ARAUJO et al., 2018; REGO et al., 2019).

A pirólise de biomassas (analisadas pela técnica termogravimétrica-TG) tem sido estudada por muitos pesquisadores como Rambo et al. (2015); Baroni (2015); Garcia et al. (2016); Araújo et al. (2018); Rego et al. (2019); Evaristo (2018); Lubwama & Yiga (2018); Gangil & Bhargav (2019) no qual tais literaturas apresentam os principais comportamentos térmicos: decomposição da celulose entre 300°C e 400°C; decomposição da hemicelulose entre 200°C e 300°C; decomposição da lignina entre 280°C a 600°C.

Para exemplificar os estudos nessa área, a Figura 7 mostra o comportamento das curvas termogravimétricas nos estudos feitos por Gargil & Bhargav (2019) para a decomposição de palha de arroz (tamanho da partícula da palha do arroz em pó <1mm) e para análise TG, o método de aquecimento adotado foi aquecer o material de 40 ° C a 1000° C no ambiente de nitrogênio à taxa de aquecimento de 10 C /min.

Figura 7. Exemplo de curvas de DTG de material bruto (curva contínua) e briquetado (curva tracejada).



Fonte: Adaptado de Gargil & Bhargav (2019).

Para os resultados encontrados pelos autores a Figura 6 apresenta a DTG de materiais brutos e briquetados onde mostra as diferentes zonas de temperatura das degradações como 40°C e 200°C (etapa de desidratação), 200 e 400°C (degradação da hemicelulose e celulose), 400 e 600°C (degradação da lignina) e 600 e 1000°C (carbonização secundária e região de cinzas).

Segundo Rego et al. (2019) bem como Lubwama & Yiga (2018) e outros colaboradores, a TG e a DTG representam os principais resultados aplicados ao estudo de degradações térmicas e significativa aos estudos de pirólise de biomassas. Nesse contexto, Barskovet al. (2019) destacam que o comportamento térmico das biomassas depende dos efeitos dos componentes lignocelulósicos de sua variabilidade estrutural. Adicionalmente os autores Rego et al. (2019) e Gargil & Bhargav (2019) comentam que o comportamento também depende das condições experimentais nas quais o processo de pirólise é influenciado pela taxa de aquecimento, a temperatura, o programa de aquecimento aplicado, a massa de amostra e o tamanho da partícula.

De maneira que o comportamento das curvas termogravimétricas (TG/DTG) seja realmente compreendido é importante conhecer os parâmetros cinéticos e o comportamento químico das biomassas, como por exemplo, as curvas de perda de água e de cada um dos três componentes lignocelulósicos. Acrescentando que para isso é imprescindível o entendimento da influência dessas condições experimentais nos dados obtidos, especialmente as influências da atmosfera gasosa, da massa de amostras, diâmetro de partículas e das taxas de aquecimento empregadas nas análises termogravimétricas.

3.4 ESTADO DA ARTE DA BRIQUETAGEM

3.4.1 Histórico, produção e mercado de briquetes no Brasil e no mundo

O surgimento do briquete data de 1848, nos Estados Unidos, quando o cientista William Easby patenteou um método no qual convertia pequenos carvões em torrões através da pressão. Anos após a patente de Easby, mais precisamente em 1862, surge na cidade de Paris, na França, a palavra briquete, um composto resultante de uma mistura de turfa, água e argila plástica (CARVALHO; BRINCK, 2004).

No Brasil, de acordo com os autores supracitados, as primeiras iniciativas de utilização desse método surgiram na década de 1960, na Companhia Siderúrgica Belgo Mineiro, em Minas Gerais, a partir da instalação de um equipamento da empresa alemã Humboldt.

A demanda de biomassa no Brasil não é recente, em decorrência do país ser detentor de uma enorme diversidade e abundância de recursos naturais. Durante décadas, a exploração dos recursos naturais no país gerou atraso econômico e tecnológico. A partir da definição de novas técnicas de aproveitamento de resíduos e programas de utilização de recursos naturais, atualmente a biomassa representa uma oportunidade na qual direciona aspectos econômicos, ambientais e estratégicos.

Diante de um cenário que o Brasil tem passado, onde diversos processos tecnológicos de geração de energia são investigados, na tentativa de atender uma crescente demanda, um importante papel é atribuído às fontes renováveis de energia, com significativo destaque para a reutilização de biomassa vegetal, os chamados resíduos lignocelulósicos, no processo de briquetagem (RODRIGUES et al., 2017; ZANELLA, 2018).

No Brasil os briquetes são muito utilizados em estabelecimentos de alimentação que utilizam lenha em seus fornos, além das fábricas com fornos a lenha. As atividades de briquetagem no Brasil são limitadas às poucas regiões com alta concentração de resíduos de madeira, como os estados de São Paulo, Santa Catarina e Mato Grosso. No entanto, a busca pela sustentabilidade e a chamada economia verde contribuiu para ampliar o consumo e, consequentemente, a produção de briquetes. Essa expansão depende principalmente de três fatores: disponibilidade de resíduos, tecnologias adequadas e um mercado crescente de briquetes (RODRIGUES et al., 2017; NUNES et al., 2020).

Para Bajwa et al. (2018) nas citações feitas em sua pesquisa apresenta um amplo crescimento quanto ao uso de biomassa, pois aponta uma expansão quanto ao uso de biocombustíveis (pellets e briquetes) com uma previsão de 40-50 milhões de toneladas até 2020 (aumento de 300% em relação a 2012). Um avanço médio de 8% ao ano com destaque para

China, Japão, Alemanha e Reino Unido. Atualmente os dois exportadores globais dominantes de biocombustíveis sólidos são os Estados Unidos e Canadá, seguidos da Suécia, Alemanha e Federação Russa, sendo que os principais mercados para sua utilização se concentram na geração de eletricidade, calor industrial e aquecimento residencial.

3.4.2 Conceito de briquetagem

A Briquetagem é um processo que transforma biomassa ou outra matéria orgânica, com ou sem ligante, em um material com formato regular que pode ser usado como combustível em caldeiras ou fornos industriais. Para produzir um combustível de alta qualidade, é necessário que os briquetes sejam submetidos a uma determinada pressão e atinjam um alto poder calorífico, alta densidade, baixo teor de cinzas, boa resistência mecânica e uma certa estabilidade dimensional. (Deshannavar et al., 2018; Gangil & Bhargav, 2019; Nunes et al., 2020).

Segundo Bajwa et al. (2018), os briquetes são blocos com superfície mais áspera e tem diferentes geometrias transversais (hexagonais, cilíndricas ou cubóides), com diâmetro de 50-100 mm e comprimento variando de 60 mm a 200 mm. Eles são fabricados pela compressão da biomassa em cilindro de compressão através do parafuso, punção ou prensa hidráulica.

Desta forma o processo de densificação de qualquer resíduo de origem vegetal pode ser compactado pela briquetagem, desde que atenda às necessidades de granulometria e teor de umidade, que são exigidos durante o processo. A vantagem dessa operação consiste em transformar um resíduo de baixa densidade em um substituto de considerável qualidade em comparação ao da lenha convencional (GENDEK et al., 2018; OKOT; BILSBORROW; PHAN, 2018; GANGIL et al., 2019).

Nas literaturas pesquisadas foram encontrados vários materiais lignocelulósicos que podem ser utilizados para produção de briquetes, entre eles se destacam: casca e galho de árvores, aparas de madeira, serragem, maravalhas, bagaço de cana-de-açúcar, casca de arroz, casca de amendoim, palha de soja, sabugo de milho, borra de café, cascas de coco, talhos de algodão, dentre outros.

Os briquetes podem ser utilizados nos mais diversos estabelecimentos comerciais ou industriais que usam fornos no processo produtivo, tais como pizzarias, padarias, hotéis, olarias, laticínios, indústria de gesso, entre outras instalações, sendo as pizzarias os estabelecimentos comerciais que mais utilizam esta lenha ecológica. No setor industrial, os briquetes são usados como combustível de caldeiras. Além do mais, a partir dos briquetes pode se originar o carvão.

A partir do processo de briquetagem é possível adquirir um combustível com homogeneidade granulométrica, maior densidade e resistência para a geração de finos na manipulação e transporte. Por intermédio do aumento da densidade concedido pelo processo de compactação, é possível fabricar um combustível com maior concentração de energia por unidade de volume. Com a resistência adquirida pelo material, obtém-se maior viabilidade técnica e econômica para o transporte em grandes distâncias (WU et al., 2018; DESHANNAVAR et al., 2018; GANGIL & BHARGAV, 2019). A Figura 8 apresenta briquetes produzidos de diferentes biomassas.

Figura 8. Briquetes de diferentes biomassas.



Fontes: A: (VIEIRA, 2014), B:(ZERBINATTI et al., 2014) C: LUBWAMA; YIGA, 2018)

De acordo com Sawadogo et al. (2018) a partir do reaproveitamento dos resíduos como matéria-prima na produção dos briquetes, tudo o que é resíduo se transforma em energia, corroborando, assim, com a preservação da natureza e com a economia de energia.

Os briquetes que possuem em sua composição mais de um tipo de material são chamados de briquetes compostos. Sua produção é semelhante à produção do briquete simples, exceto na fase de mistura das matérias-primas. Essas semelhanças possibilitam igualar os custos de produção (RODRIGUES et al., 2017).

3.4.3 Principais vantagens do briquete em relação à lenha convencional

Os briquetes de biomassa são cada vez mais aceitos no campo dos bicomcombustíveis, devido as suas propriedades particulares que influenciam no aumento da densidade da biomassa por compressão mecânica o que favorece a uniformidade dos briquetes, fator importante para o seu tamanho, pois contribui de forma excelente quanto a transportabilidade e armazenagem. Os custos de transporte e armazenamento de briquetes de biomassa compactados são 2 vezes e 10 vezes inferior aos materiais não densificados de biomassa, respectivamente. (LI et al., 2019).

O briquete é considerado um substituto da lenha, 100% natural e ecológico, e ajuda na redução do desmatamento. Para Quirino & Brito (1991), a briquetagem é uma forma eficiente de concentração de energia disponível na biomassa, visto que, 1 m³ de briquetes contém, pelo menos, quatro vezes mais energia se comparado com 1 m³ de resíduos em sua forma original. Isso se levados em consideração: a densidade a granel e o poder calorífico médio de tais materiais. A Tabela 1 traz um comparativo das principais características entre o briquete e a lenha apresentados pelos autores.

Tabela 1. Comparativo das principais características entre briquete e lenha.

Briquete	Lenha
Alto Poder Calorífico	Baixa Temperatura da Chama
Redução da Mão de Obra no Manuseio	Grandes Áreas para Armazenamento
Armazenagem Racional Peletizada	Maior Mão de Obra
Menos Poluição com mais Energia	Sujeira no Local de Estocagem e no Transporte
Redução de Volume na Estocagem e no Transporte	Grande Quantidade de Cinzas
Maior Temperatura da Chama	Quebras de Partes Internas da Fornalha
Isento de Licenças Especiais	Licenças Especiais
Baixo Teor de Cinzas	Baixa Uniformidade de Calor

Fonte: Quirino & Brito (1991).

Quirino & Brito (1991) afirmam que, além de possuírem um poder calorífico superior até ao da lenha, os briquetes possuem, no mínimo, cinco vezes mais energia se comprados aos resíduos de madeira. Para os autores, a briquetagem é um processo bastante vantajoso em relação ao armazenamento do material, uma vez que ocorre uma vasta redução do volume de material, isto é, o briquete possui um armazenamento energético superior à lenha, em um menor espaço de estocagem.

Desta forma, confirma-se a afirmativa de que o briquete compete diretamente com a lenha, obtendo, por conseguinte, vantagens em diversos aspectos em relação às suas características, principalmente aos efeitos de seu uso sobre o meio ambiente, visto que o briquete é composto apenas por resíduos. Além do mais, o briquete possui poder calorífico mais elevado, baixa umidade e baixos teores de cinzas, fuligem e fumaça (BAJWA et al., 2018; GENDEK et al., 2018; LI et al., 2019).

A Tabela 2 apresenta um comparativo geral entre briquete e lenha de acordo com algumas literaturas pesquisadas.

Tabela 2.Comparativo geral entre o briquete e a lenha conforme literaturas pesquisadas.

Classificação	Características em análise	Briquete	Lenha	Vantagens do briquete
Características Físicas	Poder Calorífico	4.000 kcal/kg a 5.000 kcal/kg	1.700 kcal/kg a 2.500 kcal/kg	Economia às empresas pelo alto poder de queima
	Umidade	8% a 15%	20% a 45%	Pouca produção de cinzas, fuligem e fumaça
	Regularidade Térmica	Boa	Comprometida devido a sua forma irregular	Forma geométrica homogênea, beneficiando a queima
	Aparência	Melhor aparência	Aparência não agradável	Melhor aparência, devido a uniformidade de seu formato
	Temperatura da chama	Alta	Baixa	Rápida elevação da temperatura pela baixa umidade
	Cinzas, fuligem, fumaça	Baixo volume	Alto volume	Menos poluente e alta eficiência na combustibilidade
Transporte e Armazenagem	Manuseio	Fácil	Comprometido devido a sua forma irregular	Diminui a quantidade de mão-de-obra necessária para a atividade
	Armazenagem	Menor espaço necessário	Maior espaço necessário	O formato geométrico homogêneo facilita a armazenagem
Responsabilidade Ambiental	Desmatamento	É evitado pelo aproveitamento de resíduos	É necessário para obtenção da lenha	Produto ecologicamente correto, ao contrário da lenha
	Higiene	Ambiente limpo, sem riscos de contaminação	Ambiente sujo, com animais e contaminado	Ideal para a indústria alimentícia
Comercialização	Poder de Substituição	Bom, por poluir menos	Baixo, por necessidade do corte de árvores	Substitui o óleo BPF em caldeiras industriais, a gás ou a energia elétrica
	Licenças para comercialização	Isento de licenças e pagamentos de taxas	Necessidade de licenças e pagamento de taxas	Apoiado pelo governo, visto que beneficia a natureza
	Licença ambiental	Dispensado de guia de transporte e fiscalização. Sem Custos	Necessário licença e guia de transporte ATPF/RET do IBAMA, com taxas a pagar	Apoiado pelo governo, visto que beneficia a natureza
	Unidade de Compra	Toneladas (tn)	Metro cúbico (m3)	Isso facilita o controle de compra e diminui erros na quantificação
	Embalagem	Padronizada	Não padronizada	Beneficiado por conta de seu formato geométrico uniforme
	Custo/Benefício	Maior	Menor	Os custos diretos e indiretos são menores, devido ao alto poder calorífico.

Fonte: Adaptado de (QUIRINO & BRITO, 1991; RODRIGUES et al., 2017; BAJWA et al., 2018; GENDEK et al., 2018; ZHANG et al., 2019).

Como pode ser observado na Tabela 2 e baseado nas literaturas pesquisadas ao longo dessa pesquisa são diversas as vantagens do briquete sobre a lenha. Desta forma, como a briquetagem utiliza resíduos após a moagem, seu processo pode ser desenvolvido com a utilização de vários tipos de resíduos, seja agrícola, industrial ou urbano o que reforça a ideia de que as biomassas agroindustriais, podem ser utilizadas para fabricar os briquetes, ressaltando que os processos de produção bem como as características são peculiares, pois dependerão das características específicas de cada biomassa.

O poder calorífico do briquete e seu baixo teor de umidade, 10 a 12% são uma das características vantajosas se comparado à lenha, que apresenta 25 a 35% de teor de umidade. Quirino e Brito (1991) apontam que, seja pela maior densidade ou pelo maior poder calorífico, a estocagem apresentará sempre mais energia por unidade de volume, reduzindo assim os pátios de estocagem à dimensão de equipamentos de queima.

De acordo com os autores, outras vantagens tornam o briquete mais atraente no mercado, quando comparado com a lenha. O briquete possui maior densidade energética, maior poder calorífico, mais rapidez na geração de temperatura e calor, reduz os custos com transporte, possui menor custo de manuseio, uniformidade, tem melhor infraestrutura de armazenamento, agilidade de movimentação, mão-de-obra, encargos sociais; maior apelo ambiental, uma vez que sua produção é derivada de resíduos e também melhora a eficiência da queima promovendo briquetes de biomassa combustíveis efetivos (DESHANNAVAR et al., 2018; BAJWA et al., 2018; LUBWAMA & YIGA, 2018).

Outros autores destacam a importância do uso dos briquetes em substituição a lenha, uma vez que esse tipo de bicomcombustível não apenas apresenta alta eficiência na combustibilidade como contribui para questão ambiental por fornecer menor índice de poluição, menor emissão de partículas, baixa volatilidade, menor teor de cinzas, taxas de CO₂ quase zero, a não necessidade de regulamentação ambiental pelos órgãos Federal, Estadual e Municipal e maior higiene (BRAND et al., 2017; BAJWA et al., 2018;ZHANG et al., 2019).

Rodrigues et al. (2017) destaca como a mais importante, o aproveitamento de resíduos e outras matérias-primas, a fim de reestruturá-las em uma forma que possa ser utilizada para gerar energia térmica.

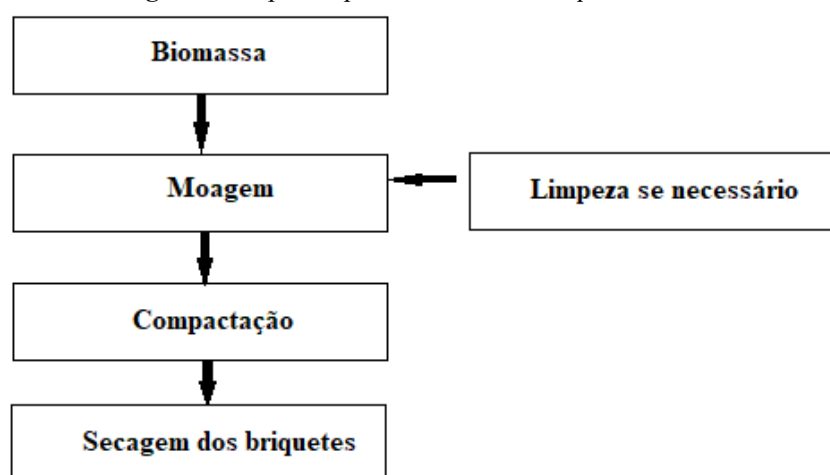
3.4.4 O processo de briquetagem

De acordo com a literatura não existe uma norma específica para produção e caracterização de briquetes e pellets e os únicos padrões disponíveis para briquetes são voltados à madeira (RANGE et al., 2018; OKOT; BILSBORROW; PHAN, 2018).

Para o Brasil são feitas adaptações de normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1981) como a NBR 6922 que trata de ensaios físicos, determinação de massa específica e densidade a granel para o carvão vegetal. Entretanto, esses métodos podem não serem aceitos no mercado externo, criando assim barreiras técnicas para as exportações brasileiras.

De acordo Sawadogo et al. (2018) o processo para produção de briquetes pode variar dependendo de biomassa para biomassa ou mesmo do processo aplicado, no qual passa por processo de transformação no qual o autor exibe um esquema simplificado do processo de fabricação dos briquetes conforme é evidenciado na Figura 9.

Figura 9. Etapas do processamento de briquetes.



Fonte: Adaptado de Sawadogo et al. (2018).

Para os autores Lubwama & Yiga (2018) o processo de briquetagem é uma técnica resultante da aplicação de certa pressão, em uma mistura de pequenas partículas de material sólido carbonizado com aglutinante, dentro de moldes matrizes, através de orifícios entre cilindros rotativos ou outros artificios semelhantes, com o objetivo de formar blocos compactos de forma definida.

Segundo Zanella (2018) as principais etapas para fabricação dos briquetes são:

1. Preparação: Consiste na determinação das características de compactação do material a ser briquetado e do tipo de equipamento a ser utilizado. Em seguida o teor de umidade e o tipo de aglutinante devem ser especificados. O ajuste da quantidade de água na mistura torna-se ainda mais importante quando são utilizados aglutinantes solúveis em água;

2. Mistura: A mistura dos reagentes é uma das etapas mais importantes da briquetagem. É de fundamental importância que o aglutinante seja distribuído uniformemente por toda a superfície do material a ser briquetado;

3. Compactação: Consiste na aplicação de uma força de compressão com a finalidade de promover formato geométrico definido e resistência ao briquete;

4. Secagem: Durante a etapa de secagem, os briquetes são aquecidos e, em seguida, resfriados lentamente, evitando assim a formação de fraturas provenientes de choques térmicos, facilitando o manuseio.

Outras etapas podem ser acrescentadas como destaque algumas apresentadas por Bajwa et al. (2018) que são:

1. Redução do tamanho: inclui corte, moagem, trituração;
2. Torrefação: que pode ser empregada como pré-processamento ou pós-processamento na densificação da biomassa para melhorar o seu comportamento de oxidação térmica.

Após moagem, segundo Vieira (2014), Rodrigues et al. (2017) e Nakashima et al. (2017) os resíduos deverão ser submetidos à análise granulométrica. No que se refere a granulometria utilizada para a fabricação dos briquetes, algumas literaturas sugerem que se utilize partículas finas ou com separação granulométrica, em que o efeito na geração de finos pode ser minimizado, produzindo briquetes com maior resistência mecânica (ZANELLA, 2018). Em sua composição de briquetes composto de borra de café e serragem (SOARES et al., 2015) sugerem a utilização das peneiras de 9, 14, 20, 35, 60 e 100 mesh. Já Rodrigues et al. (2017) em sua composição de briquetes utilizando finos de carvão vegetal e glicerina sugere o uso das peneiras de 18, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100 mesh.

Segundo Rodrigues et al. (2017), o processo de homogeneização dos componentes é importante quando o briquete for composto por mais de um material, ou quando houver a adição de algum aglutinante, pois favorecerá a obtenção de um produto final mais uniforme.

O processo de prensagem pode ser dividido em três etapas. Na primeira etapa da prensagem ocorre a diminuição do espaço entre as partículas e na segunda o processo de deformações plástica do material. E na última etapa há a diminuição do volume até o ponto em que a densidade do aglomerado se aproxime da densidade máxima do material, e este comportamento contribui para que as partículas deformadas não mudem de posição devido aos pequenos espaços entre eles (GENDEK et al., 2018).

A autora Zanella (2018) traz em sua literatura alguns tipos de equipamentos citados quanto a produção de briquetes que são:

- Prensa extrusora de pistão mecânico: Esta tecnologia é conhecida desde o início do século vinte na qual um pistão ligado a uma volante força o material a ser compactado por meio de um tronco de cone; Prensa extrusora de rosca sem fim: Nesta tecnologia uma rosca sem fim produz briquetes com furo central em processo contínuo;
- Prensa hidráulica: Este equipamento utiliza um pistão acionado hidraulicamente que compacta o material sob uma força pré-determinada. A prensa hidráulica não possui característica extrusiva;
- Prensa peletizadora: Este processo extrusivo é utilizado para a fabricação de pellets onde vapor é injetado para aquecer e corrigir a umidade.

3.4.4.1 Uso de ligante

O processo de briquetagem pode ser realizado com a adição de aglutinante ou sem aglutinante, no entanto quando não há a utilização de ligantes promove um aumento no consumo de energia para sua confecção. Todavia, a utilização de ligantes gera custos adicionais na sua fabricação (GANGIL & BHARGAV, 2019).

Os agentes ligantes desempenham um papel fundamental no processo de produção dos briquetes, pois são frequentemente utilizados para garantir a coesão do briquete e maior durabilidade uma vez que forma um filme, ou seja, uma fina camada que facilitará a união das partículas a serem aglomeradas, sendo que a sua qualidade e durabilidade dependerá do tipo de aglutinante que será adotado (SAWADOGO et al., 2018; ZANELLA, 2018; WANG et al., 2018).

O aglutinante pode ser classificados de acordo com suas características e função e são divididos em inorgânico (cimento, argila, cal, magnésio, carbonato de sódio), orgânico (por exemplo, amido, melão, caseína, resina) e composto (por exemplo, resina e alcatrão, amido e betume). Sendo energética no Brasil o amido de milho e a fécula de mandioca devido à abundância e as propriedades físico-químicas destes, resinas sintéticas, alcatrão vegetal, o melão de cana-de-açúcar e a bentonita (SAWADOGO et al., 2018, ZANELLA, 2018).

Os ligantes inorgânicos têm muitas vantagens, como recurso abundante, baixo custo, excelente termossabibilidade e boa hidrofiliabilidade. No entanto, um grande problema decorrente do uso de ligante inorgânico está relacionado com o aumento significativo de cinza. Os ligantes orgânicos têm excelentes vantagens tais como: boa aderência, bom desempenho de combustão e baixo teor de cinzas; no entanto, são fáceis de se decomporem, queimam mais rapidamente e são pobres quanto a interação de força mecânica e estabilidade térmica, além de elevar o custo de produção por serem de alto custo. Os ligantes compostos são compostos por pelos dois

ligantes já mencionados, sendo que pode fazer pleno uso das vantagens de todos os tipos de ligante, como ele pode reduzir o fornecer quantidade de aglutinante inorgânico, reduzir o custo do aglutinante orgânico, melhorar a qualidade dos briquetes e obter melhor desempenho de briquetes (KYLILI et al., 2016; WANG et al., 2018).

No caso de briquetagem sem aglutinantes a ligação das biomoléculas ocorre devido à presença da lignina (ligante natural) disponível no próprio material que se “derrete” decorrente do aumento da temperatura enquanto a biomassa está sendo submetida à alta pressão (GANGIL & BHARGAV, 2019; NUNES et al., 2020).

3.4.5 Interação entre os parâmetros de briquetagem

Algumas características devem ser levadas em consideração para que o briquete apresente alta qualidade, tanto a matéria prima como a briquetadeira.

As características e qualidade dos briquetes podem ser influenciadas por variáveis relacionadas à matéria-prima (granulometria, composição da biomassa, teor de umidade, etc.) e à produção processo (pressão, temperatura, etc.) (NAKASHIMA et al., 2017; ZHANG et al., 2019).

Neste tópico serão abordadas as duas variáveis que influenciam diretamente na qualidade e durabilidade dos briquetes, levando em consideração que existem outros fatores que são relevantes para esta abordagem. Desta forma, escolheu-se para discussões o tamanho da partícula e a umidade por influenciam nos diretamente nos demais parâmetros.

3.4.5.1 Tamanho da partícula

Estudar a influência e a qualidade dos briquetes e pellets em função do tamanho das partículas têm gerado muitas pesquisas (LISOWSKI et al., 2019).

Por terem dimensões pequenas, os resíduos podem ser aplicados diretamente no processo de briquetagem, sendo que, os que apresentam dimensões maiores, necessitam passar por um processo de redução de tamanho, facilitando a compactação.

As partículas grandes e duras dificultam a obtenção de pellets e briquetes de boa qualidade, como já mencionado, há a necessidade de diminuição das partículas que segundo o autor Lisowski et al. (2019) em sua pesquisa com cascas de nozes foi necessário trabalhar com partículas menores que 1,60mm.

Segundo Brand et al. (2017) em sua pesquisa utilizando casca de arroz no processo de briquetagem, o autor menciona a influência da combustão direta com o processo de redução do tamanho da palha de arroz, a fim de melhorar a eficiência da caldeira. Desta forma cita que

de maneira geral o menor tamanho da partícula fornece taxas de queima mais altas, além de maior ignição proporcionando melhor combustão. O autor ressalta que quanto menor o tamanho da partícula menor é a porosidade do produto final e portanto maior a sua densidade.

Em suas citações os autores Okot, Bilsborrow & Phan (2018) apresentam literaturas com informações que o tamanho da partícula para a produção de briquetes pode variar de 0,1 a 6mm dependendo do tipo de matéria-prima e com tamanho de partícula entre 6 a 8mm com 13-15% de pó no qual foi recomendada para aumentar a durabilidade do briquete aumentando os intertravamentos e minimizando os espaços entre as partículas.

3.4.5.2 Teor de umidade

O processo de briquetagem pode ser preferido em relação à peletização porque pode trabalhar com tamanho de partículas maiores e alto teor de umidade reduzindo desta forma a energia gasta nas etapas de pré-processamento da matéria prima (moagem e secagem) desta forma para trabalho feito com palha de milho o autor recomenda trabalhar com uma umidade de 6-12%, além disso relata que um teor de umidade entre 5 e 22% facilita a compactação estável de várias matérias-primas (madeira, alfafa, lignite, palha de trigo e resíduos de papel (OKOT; BILSBORROW; PHAN, 2018).

O teor de umidade é uma variável muito importante para a qualidade do produto, pois, o seu elevado teor na biomassa exibe interação entre as partículas, mas afeta negativamente as propriedades mecânicas do material densificado e consequentemente na estrutura do briquete (GENDEK et al., 2018).

Para os autores o teor ótimo de umidade está na faixa de 8–12% (BRAND et al., 2017; GENDEK et al., 2018; LISOWSKI et al., 2018), pois melhora a compactação e diminui a expansão do angulo; porém outras umidades são recomendadas com uma faixa entre 10-15% (LUBWAMA & YIGA, 2018) e 12-20% pode ser usada para obter maior densificação, sendo que altas faixas de umidade, acima de 24%, podem levar a inchaço e desintegração de briquetes imediatamente após pressionar e uma umidade muito baixa também prejudica sua estrutura ao passo que o briquete começa a se desintegrar (GENDEK et al., 2018).

De acordo com Quirino (2003) o resíduo muito seco e o acima da umidade indicada prejudicam o empacotamento do material ou produzem um briquete sem estabilidade, desfazendo-se quando estocado ou transportado.

3.5 PRODUÇÃO DE BRIQUETES COMO INCENTIVO À SUSTENTABILIDADE

No intuito de reduzir o impacto ambiental provocado pelo descarte inadequado das empresas, é importante implantar a cultura do aproveitamento dos resíduos. Em madeiras, o aproveitamento dos resíduos está relacionado à utilização da madeira de forma completa, isto é, a utilização da casca, do beneficiamento das toras, os refugos e a serragem. Ressaltando que o projeto de manejo deve ser planejado e executado de forma responsável, para que não ocorra a retirada ilegal de madeira. Tal preocupação garante um futuro ambiental sustentável, sociável e seguro.

Nesse contexto, percebe-se que não há complexidade na produção de briquetes de biomassas lenhosas e não lenhosas, nem demanda muitos materiais para a produção, necessitando apenas dos cuidados adequados com os parâmetros necessários para trabalhar adequadamente com o material a ser usado.

Atualmente a tendência mundial de substituição do consumo de fontes não renováveis para a energia renovável está estabelecida. O trabalho hoje é reduzir o consumo de combustíveis não-renováveis e poluidores, adotando o uso da biomassa.

Os consumidores domésticos compõem um nicho de possível mercado a ser explorado pelo uso da biomassa, visto que estes estão cada vez dando mais atenção a produtos ecologicamente corretos, cobrando ações das empresas que não prejudiquem o equilíbrio ambiental.

Assim, diante desse contexto, o briquete apresenta como um forte aliado no combate ao uso ou destino inadequado dos resíduos ao meio ambiente. Além do mais, o briquete garante uma ferramenta estratégica quanto aos meios de armazenamento e transporte uma vez que reduz os as estruturas para armazenamento e transporte e finalmente o tratamento dos resíduos elimina o grande volume de resíduos agroindustriais que normalmente ficam depositados nos fundos ou pátios das fabricas diminuindo ou mesmo eliminando pragas, vetores de doenças e problemas ambientais.

É importante ressaltar que, apesar dos briquetes serem produzidos a partir do aproveitamento de resíduos orgânicos, outros tipos de resíduos oriundos de outros produtos também podem ser utilizados, tais como o caroço de açaí, casca de cupuaçu, fino de carvão vegetal, bagado de cana, casca de arroz, casca de coco, de castanha de caju e castanha-do-pará, dendê, lixo urbano entre outros.

Em relação à utilização do carvão fino e o lixo urbano, cabe à necessidade de um planejamento e de uma reestruturação do processo produtivo, visto que esses elementos necessitam de aglutinantes que executem o mesmo papel da lignina, presente na biomassa.

4 ABORDAGEM METODOLÓGICA

Neste tópico, serão desenvolvidos os aspectos metodológicos do trabalho: o caráter da investigação, das fontes e tipo de pesquisa, bem como, da escolha dos instrumentos de coleta de dados.

4.1 OBJETOS DE ESTUDO

O trabalho foi realizado em parceria com a Cooperativa de Fruticultores de Abaetetuba-COFRUTA, que reúne agricultores de base econômica familiar a ela associada, tem sua sede e foro na cidade de Abaetetuba, estado do Pará, localizada na Avenida Dr. João Miranda, Km 05, Tijuquacara, no município de Abaetetuba.

Atualmente a cooperativa conta com 87 associados que atuam no processamento de diversas frutas da região (cupuaçu, açaí, taperebá, buriti, abacaxi, maracujá, goiaba, acerola, bacuri, entre outras), além de possuir uma usina de extração de óleo, no qual se trabalha com as oleaginosas de murumuru e andiroba.

O processamento dessas frutas é responsável pela maior parte do faturamento da cooperativa, no entanto também é responsável pela geração da maior quantidade de resíduos. Esses resíduos são despejados em um local no fundo do terreno na agroindústria, sem qualquer tipo de tratamento ou aproveitamento, o que tem causado sérias consequências indesejáveis à cooperativa, tais como: mau cheiro nas imediações, presença de vetores e pragas, ocupação de uma grande área no terreno e contaminação ambiental.

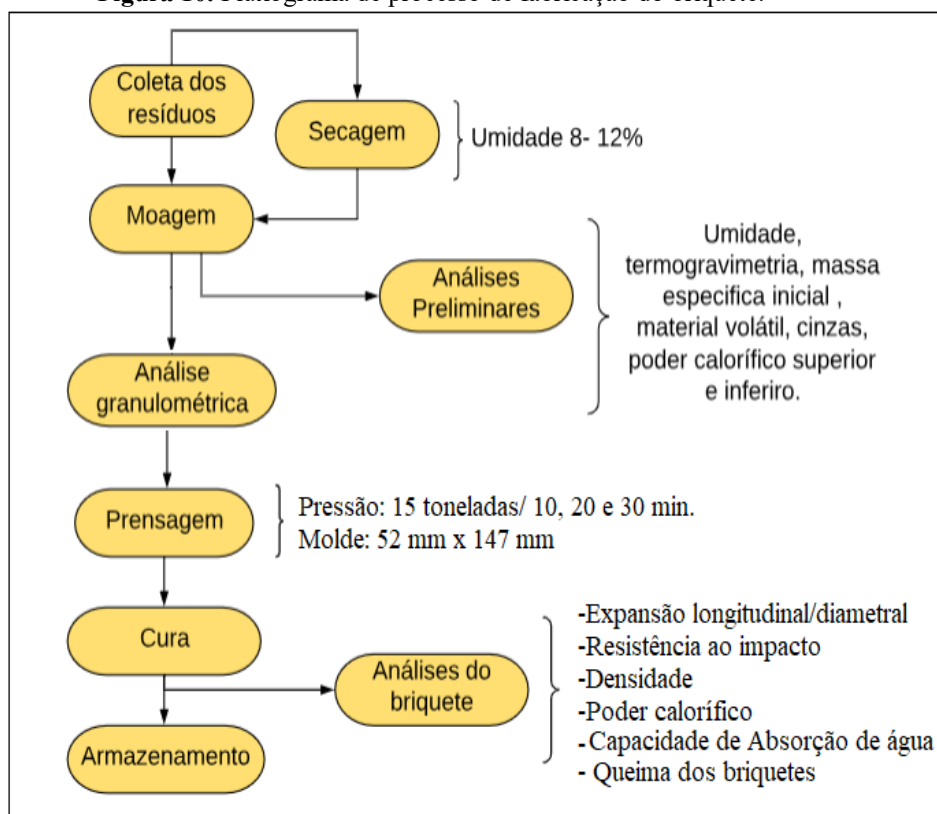
A cooperativa possui uma caldeira que é a fonte geradora de vapor para a unidade processadora de frutas, etapa do branqueamento do açaí, e também como fonte de energia para o funcionamento da usina de extração de óleo.

Para alimentação da caldeira faz-se o uso da lenha convencional oriunda das áreas vegetativas da região no qual é comprada pela cooperativa, o que resulta em custos para o funcionamento da unidade, além de promover o desmatamento ambiental da localidade.

4.2 ETAPAS DA PRODUÇÃO DOS BRIQUETES

O trabalho avaliou os três resíduos (biomassas) de maior volume na cooperativa, o que não descarta a responsabilidade e interesse com relação ao destino dos demais, o que poderá gerar novas fontes de pesquisa para futuros trabalhos.

A Figura 10 apresenta o fluxograma de processo dos briquetes baseado nas literaturas segundo Kylili et al. (2016) e Bajwa et al. (2018), com adaptações.

Figura 10. Fluxograma de processo de fabricação do briquete.

Fonte: Keila Campos (2020).

4.2.1 Coleta das biomassas

Os caroços de açaí bem como as cascas de cupuaçu ficam dispostas nos fundos do terreno da cooperativa junto com os demais resíduos oriundos do beneficiamento das frutas. Enquanto que as cascas de murumuru oriundas da quebra da amêndoa são depositadas em sacarias e armazenadas no depósito da cooperativa.

As cascas de murumuru não passaram por processo de secagem por apresentarem percentual de umidade próximo de 8% em b.u, desta forma somente as biomassas de caroço de açaí e casca de cupuaçu foram submetidas a esse processo por apresentarem a inicial acima do intervalo de umidade que a metodologia propõe (entre 8 a 12% em base úmida) sendo previamente pesadas, conforme pode ser visualizado na Figura 11.

Figura 11. Coleta dos resíduos gerados pela COFRUTA no local de armazenamento.



Fotografia: Keila Campos (2020).

4.2.2 Secagem das biomassas

As biomassas do caroço de açaí e da casca do cupuaçu foram secas separadamente em secadores solares com sistema de exaustão de ar e capazes de armazenar energia. Estes secadores ficam disponível na cooperativa para secagem das oleaginosas beneficiadas.

Os dois secadores disponíveis permitiram a secagem dos resíduos simultaneamente e separadamente. As estufas de secagem com capacidade para receber cerca de 400 kg de material possuem as dimensões de 4×2×2 metros (comprimento × altura × largura), feita em policarbonato e ferro galvanizado é constituída de: abertura para entrada de ar, saída de ar úmido, tampa de abertura para abastecimento e tampa de abertura limpeza e manutenção (Figura 12). Os registros das temperaturas e umidades no interior dos secadores foram realizados por meio de um relógio termo-higrômetro digital modelo Minipar MT-241.

Figura 12. Estufa de secagem de alto rendimento construída de policarbonato.



Fotografia: Keila Campos (2020).

A biomassa do caroço de açai (inteiro) foi seco junto com as fibras (Figura 13A), enquanto as cascas de cupuaçu (Figura 13B) foram previamente quebradas com um quebrador artesanal (Figura 14) construído pela cooperativa, com o objetivo de facilitar a sua secagem.

A umidade dos resíduos era avaliada em dois horários, 9:00h e 16:00h. Primeiramente, retirava-se uma pequena quantidade da amostra, que era triturada em desintegrador universal de alta velocidade (modelo Biobase HSD-80) e em seguida pesava-se 2g no analisador de umidade por infravermelho (modelo Marte científica ID-200). Esta medida foi realizada até a obtenção da umidade desejada.

Figura 13. Secagem das biomassas: caroço de açai (A) e da casca de cupuaçu (B).



Fotografia: Keila Campos (2020).

Figura 14. Quebra das cascas de cupuaçu.



Fotografia: Keila Campos (2020).

Esta secagem foi realizada durante os meses de janeiro e fevereiro, período de maior demanda do cupuaçu na cooperativa e período chuvoso, considerado o inverno paraense. Desta forma o tempo de secagem variou conforme as condições climáticas deste período chuvoso.

As cascas de murumuru armazenadas (Figura 15) não foram secas por apresentarem o teor de umidade dentro do intervalo de umidade ideal (8 a 12%).

Figura 15. Armazenamento de casca de murumuru: recipiente aberto (A) e em sacarias (B e C).



Fotografia: Keila Campos (2020).

4.2.3 Moagem

Após a secagem as biomassas foram trituradas em triturador industrial (WEG 22 Plus), visando facilitar o processo de prensagem durante a fabricação dos briquetes. Primeiramente, foi utilizado uma peneira com 3mm de diâmetro para impedir o entupimento do triturador e na última moagem uma peneira de 1 mm de diâmetro. Os resíduos foram pesados e armazenados em sacos de polietileno para posterior análise granulométrica. A Figura 16 apresenta o processo de moagem do caroço de açaí.

Figura 16. Trituração das biomassas após secagem: procedimento (A), Casca de cupuaçu triturado (B) e caroço de açaí inteiro (C).



Fotografia: Keila Campos (2020).

4.2.4 Análises preliminares das biomassas

O Brasil não possui normas para a realização de análises em biomassa. Desta maneira, os ensaios seguiram a norma brasileira NBR 8112 para carvão vegetal aprovada pela ABNT (1986).

As biomassas secas foram conduzidas ao laboratório de análises físico químicas do Instituto Federal do Pará / campus Castanhal para realização das análises preliminares: análises termogravimétricas, umidade, teor de cinza, massa específica, bases voláteis e carbono fixo.

4.2.4.1 Análise de Umidade

A umidade foi determinada pelo método gravimétrico estatístico em estufa com circulação forçada de ar (Tecnal TE 394) a 105°C, até peso constante. O teor de umidade da amostra foi calculado pela Equação 1:

$$Xbu(\%) = \left(\frac{mi - mss}{mi} \right) \times 100 \quad (1)$$

Onde:

Xbu (%) é o teor de umidade em base úmida (%);

mi é a massa inicial da amostra (g);

mss é a massa de sólido seco (g).

4.2.4.2 Análise da Densidade a Granel

A determinação da densidade a granel se baseou na norma técnica NBR 6922/1981 (ABNT, 1981). Para isto os materiais foram inseridos individualmente em uma caixa com dimensões reduzidas e proporcionais. A massa total será determinada em balança de precisão e a massa específica calculada conforme a Equação 2.

$$\rho = m/v \quad (2)$$

Onde: ρ é a massa específica a granel da biomassa analisada em g/cm³, m é a massa em grama da biomassa e v corresponde ao volume interno da caixa em cm³.

4.2.4.3 Densidade Energética

A variável densidade energética (DE) dos resíduos estudados foi determinada pelo produto entre o poder calorífico inferior em MJ.m⁻³ e a densidade básica em Kg.m⁻³ (DA COSTA, 2018).

4.2.4.4 Análise de Material Volátil

O material volátil foi determinado conforme Da Cruz et al. (2016), com alterações. Foi utilizado aproximadamente 1,0g de amostra seca com a granulometria de 60 mesh. O teor de volátil foi obtido utilizando a Equação 3 expressa em base seca.

$$(\%)Tv = \left(\frac{mav - mdv}{mf} \right) \times 100 \quad (3)$$

Onde: Tv é teor de voláteis em base seca (%), mav é a massa da amostra (g) antes da análise, mdv é a massa da amostra (g) depois da análise de voláteis (g) e mf é a massa inicial da amostra (g). Após a extração dos voláteis, resta como resíduos as cinzas e o carbono fixo.

4.2.4.5 Análise de Cinzas e Carbono Fixo

As cinzas são resultantes da combustão dos componentes orgânicos e da oxidação dos inorgânicos em um forno mufla sob controle de massa, temperatura, tempo e atmosfera. A amostra, sem umidade e voláteis, foi colocada em um cadinho e levada ao interior da mufla modelo EDG/Serie Economic. Sua temperatura foi então elevada para as temperaturas desejadas para iniciar o processo de incineração por 4 horas. Ao final da análise, dentro do cadinho restaram somente as cinzas da amostra. O teor de cinzas foi calculado pela Equação 4. Necessariamente, o teor de cinzas é expresso em base seca.

$$T_c = \left(\frac{m_c}{m_i} \right) \times 100 \quad (4)$$

Onde: T_c é o teor de cinzas em base seca (%), m_i = massa inicial da amostra (g) e m_c = massa da amostra (g) resultante da análise de cinzas. Após a determinação dos teores de umidade, de matéria volátil e de cinzas da amostra, o teor de carbono fixo (T_{cf}) foi obtido por diferença, conforme a Equação 5.

$$T_{cf} = 100 - (T_v + T_c) \quad (5)$$

Onde: T_{cf} é o teor de carbono fixo (%), T_v = teor de voláteis (%) e T_c = teor de cinzas (%).

4.2.4.6 Poder Calorífico

O poder calorífico é um resultado relevante para determinar a composição dos briquetes, ou seja, o percentual de cada biomassa. Esta análise foi realizada na Universidade Federal do Pará.

O poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI) dos briquetes compactados foi determinado seguindo as normas NBR 8628 (ABNT, 1984) indicado para carvão mineral, porém adaptada para combustível sólido.

4.2.4.7 Análise Termogravimétrica

A análise termogravimétrica fornece a variação do peso residual da biomassa em relação ao aumento da temperatura ou do tempo de processo de degradação térmica (GANGIL; BHARGAV, 2019).

Para as análises térmicas, particularmente termogravimetria (TG) e a termogravimetria derivada (DTG) foram utilizadas amostras retidas na peneira de 48mesh. As análises termogravimétricas foram realizadas em uma ampla faixa de temperatura, inicial foi de 25°C e

a temperatura final de 1.100°C. A taxa de aquecimento utilizada foi de 10 °C/min, em cadinho de alumina e fluxo de nitrogênio de 50mL/min. Esta análise foi realizada no Laboratório de Geociências da Universidade Federal do Pará campus Belém. O equipamento utilizado foi um Analisador Termogravimétrico (TGA-50, Shimadzu®) e aquisição dos dados de registro e o tratamento de dados foi obtido com o software TA60, versão 2.2 (Shimadzu®).

4.2.5 Determinação da granulométrica

Para determinara granulométrica utilizou-se agitador de peneiras eletromagnético, utilizando 200g da biomassa com vibração por 15 minutos, conforme Figura 17.

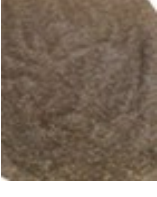
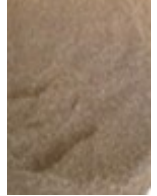
Figura 17. Agitador de peneira utilizado para a classificação granulométrica.



Fotografia: Keila Campos (2020).

A classificação granulométrica foi realizada com a biomassa após secagem e trituração. As peneiras foram selecionadas de acordo com as características das biomassas e a literatura pesquisada. Foram feitos vários testes até que se chegou as peneiras de 48, 60, 65 e 80 mesh, conforme Tabela 3 para que atendesse a produção dos briquetes das biomassas em estudo.

Tabela 3. Classificação granulométrica da biomassa do caroço de açaí e das cascas de cupuaçu e murumuru.

Granulometria (mesh)	Caroço de açaí	Casca de cupuaçu	Casca de murumuru
48			
60			
65			
80			

Fotografia: Keila Campos (2020).

4.2.6 Prensagem

Os briquetes foram produzidos a partir da prensagem das biomassas com teor de umidade entre 8 e 12% em peso, o que possibilita as melhores condições de trabalho.

A etapa da prensagem define a forma final do briquete, de acordo com o equipamento utilizado. Para a compactação do material foi utilizada uma prensa hidráulica (MARCON-MPH-30) com capacidade de 30 toneladas e um molde cilíndrico de aço fundido com diâmetro interno de 52 mm, altura de 147 mm e espessura de 4 mm, com fundo removível e laterais dobráveis e removível para assim facilitar a retirada dos corpos de prova. Cerca de 100g de cada resíduo foi alimentado no molde, variando essa massa de acordo com a granulometria utilizada em aproximadamente 10g. Foi produzido um total de 20 briquetes de cada granulometria.

Após a secagem dos materiais e separação granulométrica foram produzidos os moldes dos briquetes e nomeados de acordo com as especificações: biomassa, granulometria e tempo de prensagem nos corpos de prova (Tabela 4).

Tabela 4. Identificação dos briquetes produzidos de acordo com o tipo de biomassa (A-caroço de açaí, C-casca de cupuaçu e M-casca de murumuru), granulometria (mesh) e tempo de prensagem (tp em minutos).

A (mesh)/tp (min)	C (mesh)/tp (min)	M (mesh)/tp (min)
A 48/10	C 48/10	M 48/10
A 48/20	C 48/20	M 48/20
A 48/30	C 48/30	M 48/30
A 60/10	C 60/10	M 60/10
A 60/20	C 60/20	M 60/20
A 60/30	C 60/30	M 60/30
A 65/10	C 65/10	M 65/10
A 65/20	C 65/20	M 65/20
A 65/30	C 65/30	M 65/30
A 80/10	C 80/10	M 80/10
A 80/20	C 80/20	M 80/20
A 80/30	C 80/30	M 80/30

Após primeiros testes de prensagem, adotou-se como granulometrias as peneiras de 48mesh (0,295 mm), 60mesh (0,245mm), 65mesh (0,208 mm) e 80 mesh (0,175 mm). O fundo (< 0,074 mm), ou como muitos referenciam a “panela”, após alguns testes de prensagem foi percebido a inviabilidade de prosseguir os estudos com todas as biomassas nesta granulometria.

Todos os corpos de prova foram submetidos a uma massa de 15 toneladas ou pressão de 0,1471 Mpa no tempo de 10, 20 e 30 minutos com o objetivo de avaliar os impactos negativos nas propriedades dos briquetes: densidade, resistência ao impacto e resistência a compressão, conforme citado por Gendek (2018) e por Okot, Bilsborrow & Phan (2018). Não foram utilizados durante a confecção dos briquetes nenhum aglutinante e aquecimento.

A Figura 18 mostra a prensa e o molde utilizados para a confecção dos corpos de prova dos briquetes.

Figura 18. Prensa hidráulica (A) e molde (B e C) utilizados na produção dos briquetes.



Fotografia: Keila Campos (2020).

4.2.7 Estocagem e Armazenamento

O processo de cura foi realizado de acordo com Okot, Bilsborrow & Phan (2018) com adaptações. Para o processo de cura, os briquetes foram armazenados por até 30 dias, em ambiente fechado com pouca ventilação e temperatura ambiente (aproximadamente 30°C), dispostos em placas de vidro afim de evitar o contato direto com a bancada e não absorver umidade, preservando as características e estrutura dos corpos de prova (Figura 19). Após 7 dias de cura, para permitir a estabilização, foram realizadas as análises de densidade, resistência ao impacto e o acompanhamento da expansão longitudinal e diametral. O teste de resistência à compressão, somente, foi realizado aos 28 dias de armazenamento.

Figura 19. Armazenamento dos briquetes da casca de cupuaçu para processo de cura.



Fotografia: Keila Campos (2020).

4.3 ANÁLISES DOS BRIQUETES

4.3.1 Determinação do teor de umidade

A avaliação da umidade foi realizada em triplicata, secando os briquetes inteiros por 24 h em estufa com circulação de ar a 105 ± 1 °C e posteriormente, devidamente resfriados em dessecador para pesagem. Esta análise foi realizada após 24 h de produção (umidade inicial) e após 30 dias de armazenamento (umidade final).

4.3.2 Aferição da Expansão

A expansão longitudinal foi realizada conforme metodologia descrita por Nakashima et al. (2017) com adaptações. Foi medida a altura (direção de compactação) dos briquetes com paquímetro digital modelo (MARBERG), nos intervalos de 0, 24 e 48 horas e depois a cada 7 dias até o tempo final (30 dias) de armazenamento. A Expansão longitudinal foi calculada pela Equação 6. Também foram mensuradas a expansão diametral calculada pela Equação 7. Estas medições podem ser observadas na Figura 20.

$$E = \left(\frac{l_f - l_0}{l_0} \right) \times 100 \quad (6)$$

Onde: E = expansão longitudinal, em %; l_f = comprimento da amostra após determinado tempo de compactação em mm; l_0 = comprimento inicial da amostra (logo após compactação), em mm.

$$E = \left(\frac{cF - C0}{C0} \right) \times 100 \quad (7)$$

Onde: E = expansão diametral, em %; cF = diâmetro da amostra após determinado tempo de compactação em mm; $C0$ = diâmetro inicial da amostra (logo após compactação), em mm. Equação 7.

Figura 20. Medição diametral (A) e longitudinal (B) dos briquetes.



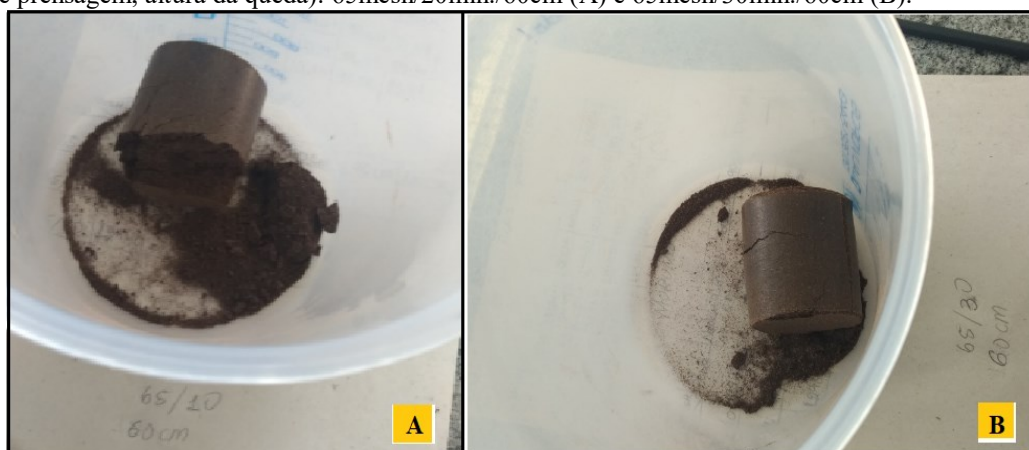
Fotografia: Keila Campos (2020).

4.3.3 Resistência ao Impacto

O teste de resistência ao impacto foi realizado segundo Silva et al. (2019) e Okot, Bilborrow & Phan (2018), com adaptações. Este teste teve o intuito de avaliar a resistência dos briquetes ao ser lançado em queda livre, simulando o que poderia ocorrer durante o transporte, manuseio e armazenamento. A massa inicial de cada briquete foi registrada, conforme sua granulometria e realizado o teste de queda livre nas alturas de 30, 60, 90 e 120cm.

Posteriormente, foi anotada a massa final que sobrou do briquete e feito o cálculo percentual pela diferença entre a massa final e massa inicial. Para cada altura de lançamento foi utilizado um novo briquete com a mesma granulometria. Esta alteração foi adaptada para obter com precisão a perda de massa em relação às diferentes alturas de queda e assim avaliar a resistência dos mesmos (Figura 21).

Figura 21. Teste de resistência ao impacto dos briquetes da casca de murumuru nas condições (granulometria, tempo de prensagem, altura da queda): 65mesh/20min./60cm (A) e 65mesh/30min./60cm (B).



Fotografia: Keila Campos (2020).

4.3.4 Teste de Capacidade de Absorção de água

Para os ensaios de absorção de água, os briquetes foram imersos em água com uma relação sólido/líquido de 1:10 por 20 minutos e posteriormente retirados da água com peneira e pesados para aferição da massa (SILVA et al., 2019 e YANG et al., 2019, com adaptações), conforme demonstrado na Figura 22.

Figura 22. Teste de absorção de água: antes de ser submerso na água (A) e após ser submerso na água (B).



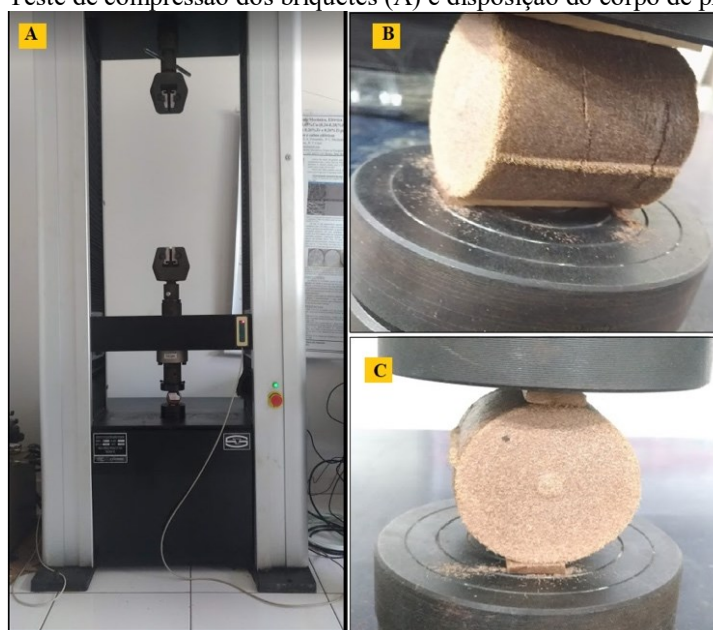
Fotografia: Keila Campos (2020).

4.3.5 Resistência à compressão

O comportamento mecânico dos briquetes foi avaliado por meio do teste de resistência a compressão dos corpos de prova por compressão diametral, adaptado da norma NBR 7222 (ABNT, 1994) para corpo de prova cilíndrico de argamassa e concretos. Este ensaio foi realizado em triplicata com os briquetes armazenados por 28 dias (período de armazenamento), conforme pode ser verificado na Figura 23.

O equipamento utilizado foi uma máquina universal de ensaios mecânicos MC modelo WDW-100E, com célula de carga de 500kgf, velocidade de 3mm/s, com a carga aplicada no sentido perpendicular à força de compactação (comprimento do brique).)

Figura 23. Teste de compressão dos briquetes (A) e disposição do corpo de prova (B e C).



Fotografia: Keila Campos (2020).

O número de amostras empilhadas verticalmente (Nemp) foi calculado segundo metodologia, adaptada, de Da Silva et al. (2015) para briquetes produzidos com biomassas de serragem de *Eucalyptus* sp e *Pinus* resíduos da cana de açúcar. Sendo calculado pela força máxima de ruptura (FMrup) dividido por um fator de segurança (fs) e massa média das amostras (100 g). Sendo assim, o Nemp representa a quantidade máxima de amostras empilhadas que um tratamento suporta. O FMrup foi fornecido pelo ensaio de compressão. O fs foi considerado como 300%, ou seja, diminui o FMrup em três vezes. A Equação 8 apresenta o cálculo do Nemp.

$$Nemp = \left(\frac{FMrup}{fs \times 0,1} \right) \quad (8)$$

De posse do Nemp é possível calcular a altura do empilhamento (Hemp). Como o diâmetro das amostras é em média 5,4 cm a Hemp é dada pela equação 9.

$$Hemp = \left(\frac{Nemp \times 5,4}{100} \right) \quad (9)$$

4.3.6 Densidade Aparente dos briquetes

A densidade aparente é determinada pela relação entre a massa e volume dos briquetes. O diâmetro da amostra e a altura em centímetros foram medidos com um paquímetro universal digital 150mm (Zaas) e o volume calculado de acordo com a fórmula do volume do cilindro. A densidade aparente foi calculada pela massa do corpo de prova e o seu volume (DA CRUZ et al., 2016). A massa dos briquetes individuais foram determinadas através da pesagem em balança semi-analítica (Shimadzu - BL 3200 H). Com isso utilizou-se as Equações 10a, 10b e 10c para obter o valor da densidade aparente com umidade em torno de 12%:

$$Vt = \left(\frac{\pi h d^2}{4m} \right) \quad (10a)$$

Em que:

Vt= volume total do cilindro (cm³).

d = diâmetro dos cilindros (cm).

h = altura dos cilindros (cm).

$$DA = \left(\frac{ms}{Vt} \right) \quad (10b)$$

Em que:

DA = Densidade aparente das amostras (g/cm³).

ms = Massa ou peso seco das amostras sem tara (g).

Vt= Volume total do cilindro (cm³).

Substituindo-se a equação 8a na equação 8b tem-se a equação 8c:

$$DA = \left(\frac{4ms}{\pi h d^2} \right) \quad (10c)$$

Em que

DA = Densidade aparente das amostras pelo volume (g/cm³).

d²= Diâmetro dos cilindros ao quadrado (cm).

h = altura dos cilindros (cm).

ms = Massa ou peso seco das amostras sem tara (g).

4.3.7 Densidade energética dos briquetes

A densidade energética (DE) é uma das principais propriedades que definem a qualidade do briquete, pois resume as características químicas, as condições de umidade e a quantidade de calor do produto em uma única variável (SOUZA; VALE, 2016).

A densidade energética dos briquetes é calculada multiplicando-se o poder calorífico útil pela densidade aparente. O poder calorífico útil (PCU), segundo Brito (1993) e Vale et al. (2007), pode ser estimado por meio da Equação 9, a qual leva em consideração a umidade da biomassa utilizada.

$$PCU = PCI(1 - Ubu) - 600 \times Ubu \quad (11)$$

Onde PCU é o poder calorífico útil (J/kg), PCI é o poder calorífico inferior (J/kg) e Ubu representa a umidade da amostra em porcentagem, base úmida (%).

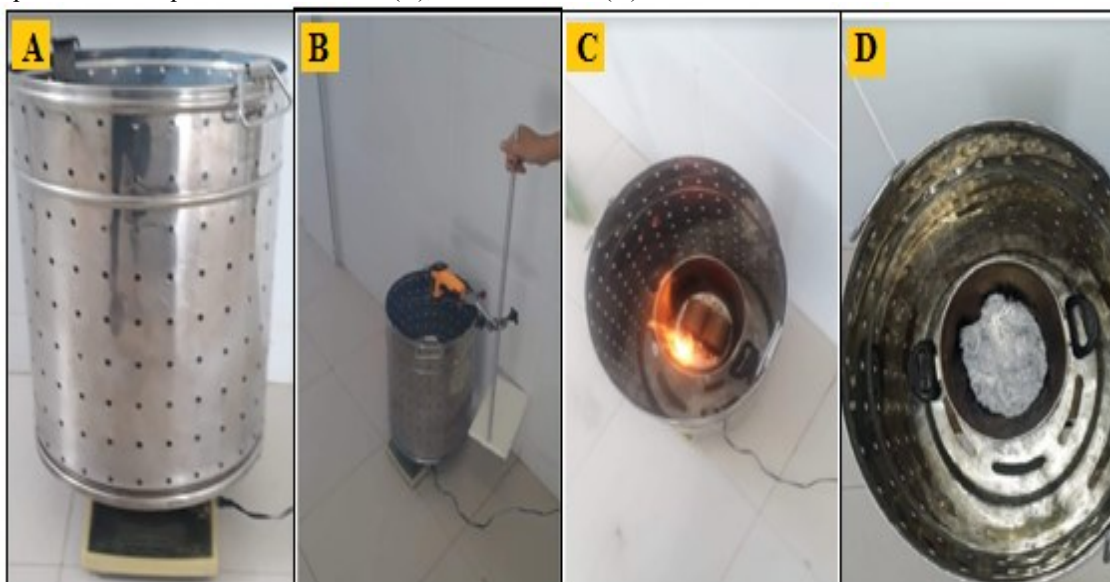
A densidade energética é dada pela Equação 10:

$$DE = PCU \times DA \quad (12)$$

4.3.8 Teste de queima no combustor construído

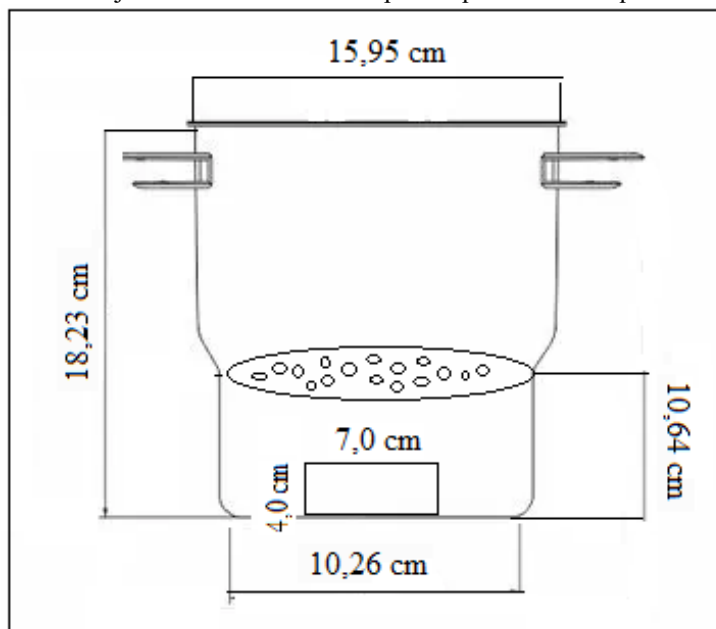
O dispositivo para execução desta análise foi construído e adaptado a partir da metodologia descrita por Quirino & Brito (1991). O material utilizado como combustor, é um recipiente de alumínio destinado para cozimento a vapor com as seguintes dimensões: diâmetro superior de 15,95 cm, diâmetro inferior de 10,26 cm, altura superior de 18,28 cm, altura inferior até a peneira de saída do vapor de 10,64 cm, com peneira de diâmetro de ignição dos furos de 0,5 cm. Ao sistema de queima foi adaptado uma balança semi-analíticas (Shimadzu- BL 3200 H) para acompanhar a perda de massa durante o processo de combustão, bem como um anteparo cilíndrico de aço inoxidável com furos para controlar o fluxo de ar interno, além de um termômetro a laser (Skill-Tec SKTI-550) para medir a temperatura e uma base de madeira com a função de realizar o isolamento térmico, impedindo que o calor atingisse a balança. Para este teste foram utilizados somente os briquetes com granulometrias de 60 mesh e tempo de prensagem de 20 minutos. A Figura 24 apresenta as etapas de queima dos briquetes e a Figura 25 destaca o projeto do combustor usado.

Figura 24. Teste de queima dos corpos de prova dos briquetes. Dispositivo completo (A), controle de temperatura (B), queima dos briquetes no combustor (C), cinzas restante (D).



Fotografia: Keila Campos (2020).

Figura 25. Projeto do combustor usado para a queima dos briquetes.



Fonte: Adaptado de Quirino, 1991.

Primeiramente foi montado o dispositivo de combustão, onde sob a base de madeira ficaram dispostos o anteparo cilíndrico e o combustor com os briquetes. A ignição ocorreu com a combustão de 10 mL de álcool (acondicionado no recipiente de alumínio disposto na base do combustor e abaixo da tela perfurada). Os briquetes foram colocados no combustor após aferição da massa total na balança. Neste equipamento adaptado, foi possível medir a perda de massa e a temperatura em função do tempo durante a combustão, e com os dados construir os

gráficos da temperatura x massa. Foi calculado o índice de combustão (ICOM), utilizando-se a Equação 13 (QUIRINO & BRITO, 1991 com modificações).

$$\text{ICOM} = (A \times B) / (100 \times C) \quad (13)$$

Onde A = porcentagem do tempo no qual a temperatura permanece acima de 150 °C, em relação ao tempo total de teste até a temperatura final de 100 °C;

B = porcentagem da temperatura máxima atingida em relação à temperatura de 150 °C;

C = porcentagem da massa total consumida, gerando temperaturas acima de 150 °C. A massa utilizada de briquetes para o teste foi de 200±20 g. O tempo foi variável, mas não ultrapassando 100 minutos e o intervalo foi medido a partir do início da combustão até a temperatura final de 100 °C.

4.3.9 Testes de combustão na caldeira

Ocorreu a falta de material suficiente para a produção dos briquetes das três biomassas para os testes na caldeira da COFRUTA e considerando que o caroço de açaí apresentou o menor poder calorífico (próximo ao da lenha utilizada) e os melhores resultados quanto aos testes físicos e mecânicos, logo, os testes foram realizados com este material com três repetições.

O teste foi realizado para o cozimento de 400 Kg de amêndoas de murumuru em dias alternados com jornada de 8h. Para efeito comparativo entre a lenha e o briquete, foi obtido a massa inicial em Kg da lenha que normalmente é utilizada e assim pesada a massa dos briquetes (Figura 26 A). Desta forma, as 18 unidades de lenhas separadas para o teste na caldeira equivalem a aproximadamente 42 Kg (Figura 26 B).

A caldeira da cooperativa é do modelo MARITEC tipo fogo tubular vertical, de alimentação manual, para aquecimento de água, com pressão de trabalho até 10 Kgf/cm² e pressão de vapor de 16,5 Kgf/cm², que produz 200kg/h de vapor (Figura 27 A).

Figura 26. Briquetes produzidos (A) e lenha pesada (B) para os teste de cozimento das amêndoas de murumuruna COFRUTA.



Fotografia: Keila Campos (2020).

Previamente pesado, o combustível foi colocado na câmara superior da caldeira de modo a formar um monte e para os ensaios em que a água de alimentação da caldeira estava à temperatura ambiente, a ignição do combustível, foi provocada com o auxílio de acendalhas de papelão levando entre 30 a 40 minutos para formar uma chama quente e estável com o canal inferior da caldeira aberta, para facilitar à entrada de ar em ambas as secções da caldeira. Ao atingir a temperatura, próximo de 70 °C, o canal inferior foi fechado o que permitiu a redução do excesso de ar, aumentando a temperatura na câmara de modo a promover a combustão do material.

Para evitar o desligamento da caldeira e manter a eficiência da combustão, após o fechamento da câmara era adicionada uma quantidade de combustível previamente estipulada para todo o ensaio, de modo que a pressão de trabalho permanecesse próximo de 4 kgf/cm² necessária para manter a usina funcionando, durante a jornada de trabalho. A Figura 27 (A, B, C e D) apresenta a caldeira (A), carregamento com os briquetes (B) e a etapa de queima (C, D).

Figura 27. Processo de queima dos briquetes.



Fotografia: Keila Campos (2020).

4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística foi realizada com o auxílio do *software Statistica* versão 7.0 (*StatSoftware* - USA). Inicialmente, os dados amostrais foram tratados com base na estatística descritiva, considerando-se a amplitude geral dos dados, medidas de tendência central (médias aritméticas) e de variabilidade (desvios-padrão), para teor de cinzas, densidades aparentes, densidades energéticas, poder calorífico superior, poder calorífico inferior e poder calorífico útil.

Foram também quantificados os efeitos das variáveis de entrada do processo de briquetagem para cada biomassa empregada neste trabalho, por meio da análise de variância (ANOVA), considerando-se como fonte de variação a granulometria dos materiais (resíduos) e o tempo de prensagem. As diferenças entre as médias das variáveis de resposta devido aos tratamentos e blocos, foram analisadas por testes de hipóteses e de Tukey, considerando-se uma confiança de 95%, ou seja, um nível de significância $\alpha = 0,05$.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

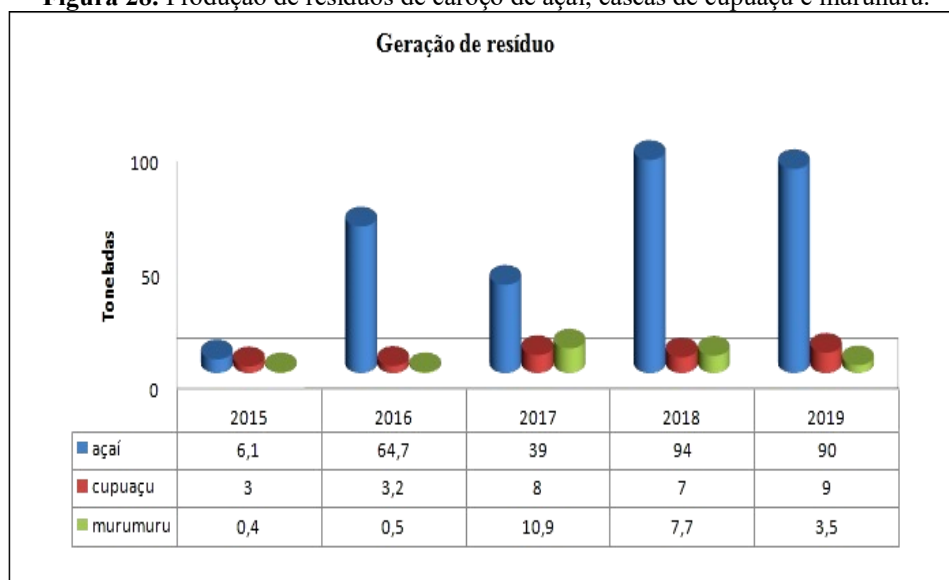
5.1 MONITORAMENTO DAS ATIVIDADES DE PRODUÇÃO DA COOPERATIVA

Os dados obtidos nesta pesquisa são decorrentes do acompanhamento da produção da cooperativa durante a realização das atividades bem como dos registros verificados, no qual foram investigados os últimos 5 anos das atividades desempenhadas com as biomassas na cooperativa que fazem parte deste estudo.

5.1.1 Geração de resíduos dos últimos 5 anos das biomassas em estudo

Com base nos levantamentos de dados na cooperativa e nas conversas de campo com os cooperados foi observado que para os resíduos de caroço de açaí a quantidade em tonelada aumentou com o passar dos anos, o que já era esperado devido a crescente procura pela fruta, o que elevou a geração desse resíduo. Já a quantidade de casca de cupuaçu aumento em comparação com 2015, porém manteve-se quase que constante nos últimos 3 anos (Figura 28).

Figura 28. Produção de resíduos de caroço de açaí, cascas de cupuaçu e murumuru.



Por fim, observa-se no gráfico um crescente aumento na geração de resíduos com casca de murumuru nos primeiros 3 anos e a partir de 2018 há uma redução, uma vez que a safra é de janeiro a maio, porém a coleta e quebra da oleaginosa só inicia a partir de maio e vai até setembro devido as grandes águas do período da safra. Portanto, devido a esta dificuldade, houve uma queda no beneficiamento. Em 2019 observou-se que os cooperados começaram a adquirir as amêndoas já separadas da casca o que diminuiu a geração resíduos, porém, houve uma elevação no preço aquisitivo dessa matéria prima. Hoje os cooperados buscam novas alternativas para continuar com o beneficiamento sem afetar o preço de aquisição do material e vem se pensando a construção de uma máquina quebradora que atenda essa prática.

5.1.2. Gastos com a aquisição de lenha

Com o objetivo de reduzir os custos com a aquisição da lenha, a cooperativa passou a comprar dos cooperados, sendo o material retirado das suas propriedades, o que a torna por um lado rentável, mas por outro lado fomenta ainda mais a questão do desmatamento.

Ao longo das visitas na cooperativa foi realizado o levantamento dos registros referentes aos gastos com a aquisição de lenha convencional utilizada na caldeira nos últimos 5 anos (2015 – 2019). Os dados dos gastos totais em R\$ referentes a cada ano estão na Tabela 5.

Tabela 5. Gastos com a aquisição de lenha nos últimos 5 anos.

Ano	Custo total com lenha (R\$)
2015	520,00
2016	1670,00
2017	2310,00
2018	2200,00
2019	1150,00

Foi observado que para uma jornada de trabalho de 8 horas de funcionamento da caldeira é usado em média 1 m³ de lenha. Já na usina de óleo costuma usar uma quantidade maior de lenha devido os equipamentos funcionarem a vapor.

5.2 SECAGEM SOLAR

A secagem em estufa solar é delimitada por variáveis que podem influenciar na variação do tempo de secagem e uma delas é em relação ao clima. O estado do Pará possui duas estações: inverno e verão, com isso dependendo da estação pode ocorrer prolongamento e a variação brusca da temperatura no decorrer do processo de secagem. A Tabela 6 apresenta dados resultantes da secagem em (bu) das cascas de cupuaçu e caroço de açaí durante 5 dias de secagem entre os meses de janeiro e fevereiro.

Tabela 6. Percentual (%) do teor de umidade das biomassas submetidas a secagem solar.

Amostra	% Umidade	% Final
Açaí	30,0	12,0
Cupuaçu	40,0	11,0
*Murumuru	8,0	8,0

*As cascas de murumuru não foram secas no secador por apresentarem inicialmente já 8% de umidade (b.u).

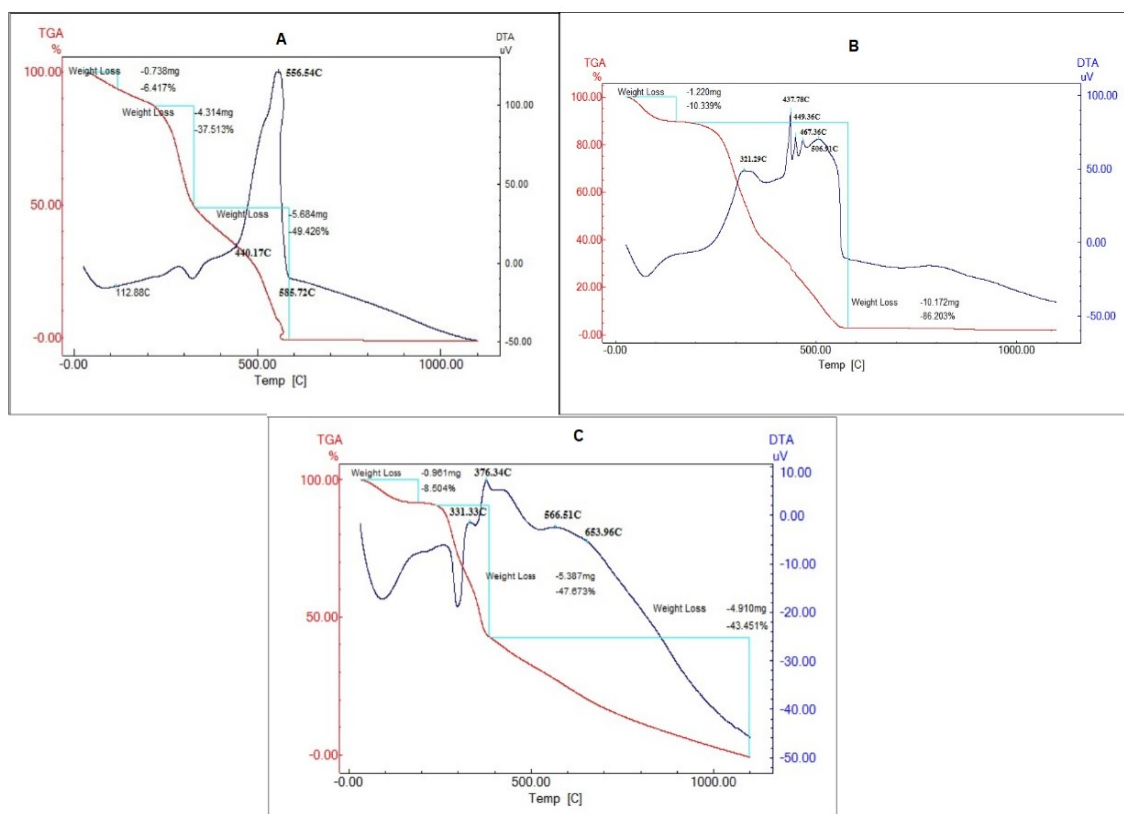
As biomassas do caroço de açaí e casca de cupuaçu ambos *in natura* coletados apresentaram teores de umidade (30 e 40%) respectivamente que são próximo dos valores encontrados em outros trabalhos (RIBEIRO, 2017; DA COSTA, 2018). Desta forma, o material não pode ser usado para o processo de briquetagem, pois segundo Okot, Bilsborrow & Phan (2018) biomassas com alta umidade são propensas a decomposição e proliferação de fungos durante o armazenamento e transporte e, além disso, apresentam baixa propriedade de combustão. Portanto, as biomassas foram secas até atingirem percentual de umidade entre 8 a 12% conforme indica outros autores que desenvolveram briquetes nessas condições de umidade (BRAND et al., 2017; GENDEK et al., 2018; LISOWSKI et al., 2018).

5.3. ANÁLISES TERMOGRAVIMÉTRICAS

Com o objetivo de compreender o comportamento térmico das biomassas durante a sua carbonização foi realizada a análise termogravimétrica, uma vez que o tratamento térmico produz uma variedade de mudanças químicas e físicas em materiais orgânicos.

Para as biomassas estudadas nesta pesquisa observou-se que as inflexões presentes na curva DTA são decorrentes das etapas que envolvem variação de massa. O ponto de maior intensidade em cada uma das inflexões da curva TGA corresponde à temperatura em que a reação está ocorrendo mais rapidamente, ou seja, é a temperatura de pico. A Figura 29 (A, B e C) apresentam os resultados da termogravimetria TGA e DTA do caroço do açaí e das cascas de cupuaçu e murumuru, respectivamente, em atmosfera inerte de nitrogênio.

Figura 29. Curva termogravimétrica (TGA)/ termogravimétrica derivada primeiro (DTA) do caroço de açaí (A); cascas de cupuaçu (B) e murumuru (C)



A partir dos resultados termogravimétricos do caroço de açaí (Figura 29 A), pode observar a presença de três estágios de degradação, em aproximadamente 100°C ocorreu perda de 6,5% de massa referente à umidade. Evaristo et al. (2016) relata que nessa fase não há interferência da característica física e química dos materiais, essa diferença será marcante apenas nos estágios posteriores.

No segundo estágio de degradação ocorre a perda em torno de 37,5% de massa, no intervalo de temperatura de 200-300 °C, atribuído ao rompimento das ligações de celulose e início de degradação da hemicelulose. Segundo Rambo et al. (2015) e Gargil & Bhargav (2019) os compostos moleculares e outros compostos orgânicos voláteis evaporam entre 120 °C e 250 °C. Na faixa de 100 °C a 200 °C, a biomassa é considerada estática. No terceiro estágio de degradação a sua massa foi reduzida em 50% no intervalo de temperatura de 300- 600°C. E na temperatura próxima a 556 °C ocorre um pico exotérmico referente ao processo de combustão do material que finaliza próximo a 600°C com a perda de massa constante. Em temperatura próxima a 600 °C observa-se a degradação do resíduo, iniciando-se o processo de formação de cinzas. Os resultados estão próximos aos encontrados por Martins et al. (2009), Rambo et al. (2015) e Barbosa (2016). A Figura 29B apresenta os resultados da termogravimetria TGA e DTA das cascas de cupuaçu, onde observa-se três estágios de degradação. No intervalo de 0-150°C ocorreu perda de 10,4% de massa referente à umidade. Para o segundo e terceiro estágio totalizam-se 86,2% de perda de massa, com intervalo de temperatura de 200-600°C. Nesses dois estágios os comportamentos termogravimétricos são quase ininterruptos, acarretando a perda de massa acentuada e comportamentos exotérmicos. A casca de cupuaçu apresentou um comportamento termogravimétrico com 5 picos exotérmicos (322°C; 437,78°C; 449,36°; 467,36°C e 507°C). Na temperatura próximo de 600°C a massa permaneceu constante, iniciando o processo de formação de cinzas. Os resultados estão condizentes com os encontrados por Dos Santos (2004) e Mendonça, (2018).

Na termogravimetria das cascas de murumuru observa-se a presença de quatro estágios de degradação (Figura 29C). No intervalo de 0-150°C ocorreu perda de 7,75% de massa referente à umidade. No segundo estágio, de 200-400°C, há perda de 45,3% de massa. Nos estágios 3 e 4 ocorrem uma perda de massa que totaliza 46,2% nos intervalos de 400-500°C e 500-700°C, respectivamente. Após o 4º estágio a massa permanece constante em 700°, iniciando o processo de formação de cinzas. O comportamento termogravimétrico apresentou 2 picos exotérmicos nas temperaturas de 543°C e 657°C.

Para Barskov et al. (2019), a diferença na temperatura em que ocorre degradação térmica dos componentes lignocelulósicos depende intrinsecamente sobre a natureza da biomassa, a maioria dos pesquisadores com estudos nessa área relatam que a hemicelulose é o componente menos estável termicamente nas biomassas seguido da celulose e lignina. Sendo assim, a lignina por ser o componente lignocelulósico mais estável não inicia o seu processo de degradação até que a temperaturas atinja pelo menos 300°C.

5.4 ANÁLISES PRELIMINARES

Os dados obtidos sobre a caracterização preliminar do material em estudo estão resumidos na Tabela 7, bem como os dados comparativos da lenha convencional utilizada pela cooperativa.

Tabela 7. Média dos valores de Umidade (U%), Material Volátil (MV %), Cinzas %, Carbono Fixo (CF %), Densidade Aparente (DA) e Poder Calorífico (PC) das biomassas adquiridas e lenha utilizada na cooperativa.

Análises Preliminares	Caroço de açaí	Casca de cupuaçu	Casca de murumuru	Lenha convencional
% U	12,0 ± 0,25	11,0 ± 0,32	8,0 ± 0,05	24,97 ± 0,06
% MV	79,3 ± 0,01	75,9 ± 0,01	74,03 ± 0,81	71,5 ± 1,32
% Cinzas	1,0 ± 0,01	1,2 ± 0,06	3,4 ± 0,03	4,67 ± 0,8
% CF	20,0 ± 0,32	23,8 ± 0,78	22,6 ± 0,63	18,01 ± 0,04
DA (g/cm³)	0,58 ± 0,02	0,35 ± 0,01	0,66 ± 0,01	0,59 ± 0,6
PC (MJ/Kg)	11,64 ± 0,84	12,82 ± 0,31	13,39 ± 0,03	11,06 ± 2,34

Os teores de cinzas das três biomassas analisadas foram baixos (Tabela 7), demonstrando a viabilidade dos resíduos na formação de briquetes para biocombustível, corroborado pelo alto percentual de material volátil. Pois, estudos realizados com diferentes biomassas revelam que quanto maior teor de material volátil e menor teor de cinzas, normalmente, maior será o poder calorífico. O teor de cinzas representa o material que não produz calor, ou seja, o material inerte. Briquetes com qualidade necessitam de um teor de cinzas menor que 4% para que não ocorra corrosão do equipamento. Desta forma os resíduos em estudos estão próximos dos valores encontrados para biomassas de casca de café, arroz e espigas de milho (LUBWAMA et al., 2018; OKOT; BILSBORROW, PHAN, 2018; GRANADO et al., 2021).

No geral o conteúdo de material volátil está próximo ao da maioria das biomassas, entre 65% a 83% em peso e de 76% a 86% para biomassas lenhosas (EVARISTO et al., 2016; MARTINEZ et al., 2019) e o conteúdo de carbono fixo está coerente ao das literaturas consultas. Desta forma o teor de material volátil e carbono fixo são grandezas inversamente proporcionais o que implica em uma biomassa de fácil inflamabilidade.

Comparando os resultados das análises dos resíduos e a lenha convencional utilizada pela cooperativa, verifica-se que as biomassas apresentam resultados mais satisfatórios para a produção de briquetes como fonte de energia. Uma vez que a lenha convencional, apesar de conter poder calorífico próximo dos resíduos, cabe ressaltar que o seu alto teor de umidade afeta negativamente o valor calorífico. Pois segundo Granado et al. (2021), durante o processo de combustão parte da energia é gasta para evaporar a água o que resulta em menor produção de energia, além de conter maior teor de cinzas em relação as biomassas estudadas.

A densidade está relacionada com a compactação do material, neste caso a lenha com densidade (590Kg/cm^3) é bem menor do que a literatura informa para briquete (1000 a 1300Kg/cm^3) o que revela que as biomassas em estudo poderão formar briquetes mais compactados do que a lenha (SILVEIRA, 2008; BARABOSA, 2016; DA CRUZ, 2016; PADILLA et al., 2016).

5.5 ANÁLISES DOS BRIQUETES

5.5.1 Testes de Expansão Diametral e Longitudinal

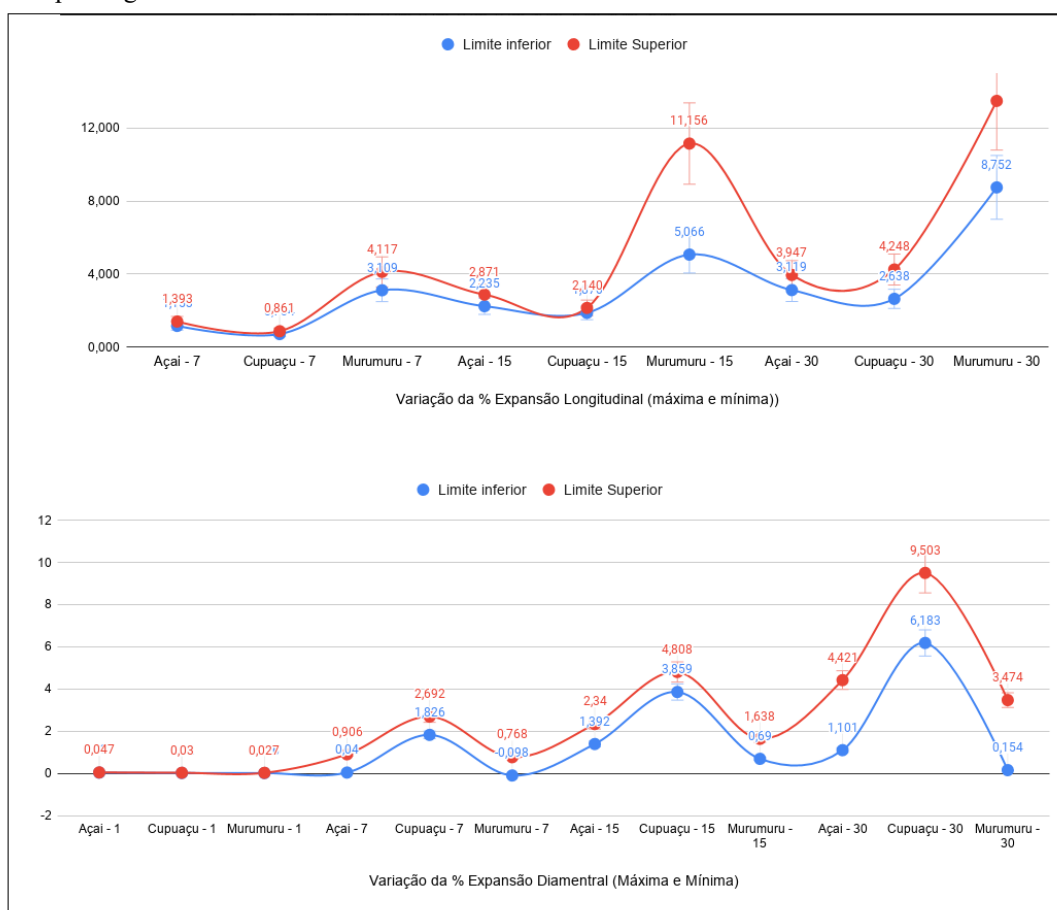
Os resultados para o comportamento da expansão diametral e longitudinal (mm) em função da granulometria, considerando a evolução no decorrer do tempo de armazenamento (1° , 7° , 15° e 30° dia) encontram-se expostos na Tabela 8 bem como o comportamento gráfico na Figura 30, no qual considerando a evolução das expansões no decorrer do tempo de armazenamento (1° , 7° , 15° e 30° dia), com os fatores Tipo de Briquetes e Granulometria, foi observado nos dados que o briquete que teve, em todos os casos, a menor média de expansão diametral foram os produzidos com casca de murumuru bem como a maior média de expansão longitudinal. Com maior variação para os briquetes de caroço de açaí e casca de cupuaçu no 1° dia, enquanto nos dias 7, 15 e 30, o coeficiente de variação se manteve igual.

Tabela 8. Comportamento da expansão diametral e diametral das variáveis com 2 fatores: biomassa do briquete e granulometria no decorrer do tempo de armazenamento (1° , 7° , 15° e 30°) dias.

Dias	Granul. (mesh)	Expansão Diametral (mm)			Expansão Longitudinal (mm)		
		A	C	M	A	C	M
1° dia	48	0,0749	0,0311	0,0235	0,064	0,0342	4,8576
1° dia	60	0,05	0,0277	0,0204	0,056	0,353	4,0593
1° dia	65	0,022	0,0203	0,0201	0,034	0,3295	4,0643
1° dia	80	0,0212	0,0206	0,0214	0,032	0,2321	3,9012
7° dia	48	0,4067	3,7702	0,5645	0,465	0,4534	4,3902
7° dia	60	0,9724	1,8617	0,5253	0,563	0,3965	3,4276
7° dia	65	0,2765	1,6848	0,0814	0,649	0,5473	3,7577
7° dia	80	0,2364	1,72	0,1688	0,2434	0,2346	3,6904
15° Dia	48	2,3184	5,7881	2,2089	1,674	4,4328	5,3488
15° Dia	60	1,7962	4,1621	1,3884	0,9753	1,3481	4,6787
15° Dia	65	1,4816	4,2597	0,4085	0,9352	1,0976	4,6781
15° Dia	80	1,8688	3,1246	0,6499	0,934	0,8065	4,0471
30° dia	48	4,1795	7,3714	3,3457	1,034	8,4323	6,785
30° dia	60	2,6992	12,1425	1,8053	0,985	2,9223	6,873
30° dia	65	2,4542	6,4044	0,912	0,7861	2,643	6,381
30° dia	80	1,7118	5,4529	1,1937	1,032	1,3527	4,375

A= briquete de açaí, C= briquete de cupuaçu e M= briquete de murumuru.

Figura 30. Comportamento gráfico da expansão longitudinal e diametral para os briquetes produzidos por 15 minutos de prensagem das biomassas em estudo.



5.5.2 Resistência ao impacto

Segundo Okot, Bilsborrow & Phan (2018), a resistência ao impacto é uma medida que avalia a durabilidade dos briquetes e define sua tendência a produzir poeira ou quebrar quando submetidos à força destrutiva. É um indicador de resistência mecânica dos briquetes, portanto, seu valor deve ser mais alto possível.

Considerando para efeito comparativo, os briquetes em relação a granulometria (Tabela 9), o experimento geral indica que para os briquetes de caroço de açaí e casca de cupuaçu a granulometria não obtiveram efeito significativo. De um modo geral, obtive-se excelentes resultados para os testes feitos com essas duas biomassas, com resultados acima de 80% de massa restante para a altura de lançamento do teste executado, indicando que estes briquetes poderão suportar quedas com alturas ainda maiores.

Os resultados encontrados são coerentes com estudos para briquetes produzidos com espigas de milho e casca de café, com uma faixa de teor de umidade de 8 e 12%, respectivamente, conforme Okot, Bilsborrow & Phan (2018) e Brand et al. (2017).

Tabela 9. Percentual (%) de massa restante em relação à altura da queda (cm) no teste de resistência ao impacto.

Briquete	Altura da queda (cm)			
	30	60	90	120
A48	99,88±0,05	99,52±0,89	99,1±0,49	92,62±1,08
A60	99,80±0,09	95,52±6,01	94,77±6,84	94,21±7,29
A65	99,88±0,03	99,52±0,35	99,1±0,56	92,62±1,77
A80	99,77±0,15	99,59±0,19	99,24±0,56	98,73±1,15
C48	99,90±0,09	66,79±2,13	66,69±1,48	65,58±0,15
C60	99,85± 0,02	94,07± 2,12	94,07± 1,91	85,99± 2,76
C65	99,81± 0,09	93,38± 1,80	92,76± 2,20	84,95± 1,29
C80	99,79± 0,15	99,44± 0,31	82,86± 1,17	80,88± 1,23
M48	nr	68,18±0,78	55,235±0,89	nr
M60	69,56±0,56	55,2350,45	nr	nr
M65	68,18±0,99	60,78±1,18	61,06±0,87	nr
M80	99,87±0,07	99,41±0,32	98,32±0,53	60,61± 0,74

nr: não resistiu

Os briquetes produzidos com casca de murumuru não apresentaram de massa restante (%) em relação a granulometria de 80 mesh com as demais (60 e 65 mesh). Isso comprova, que a granulometria de 80 mesh pode substituir as demais e ainda confere a maior média de massa restante para a altura máxima (60,61%). Briquetes que apresentam alta resistência ao impacto são considerados briquetes de qualidade, pois minimizam a possibilidade de quebras e a formação de poeira durante o transporte. Até o momento não existem padrões certificados para briquetes de biomassas, porém alguns pesquisadores relatam que esse teste precisa apresentar uma resposta entre 80 e 90% ou mais de 90% para melhor manuseio e transporte. Estes resultados estão de acordo os encontrados por Lubwama e Yiga (2018), que trabalharam com briquetes de casca de café não carbonizados a pressão de 10 toneladas. Desta forma os briquetes produzidos com caroço de açaí e casca de cupuaçu são enquadrados dentro desta discussão.

5.5.3 Absorção de água

De acordo com os testes realizados verificou-se que todos os briquetes produzidos com as 3 biomassas em estudo, nas condições de diferentes granulometrias e tempo de prensagem não resistiram ao teste de absorção de água. Pois, absorveram completamente a água logo nos primeiros 5 minutos de contato com a mesma.

Em testes realizados com pellets feitos com palha de milho em prévia carbonização apresentaram o mesmo comportamento (YANG et al., 2019). Segundo o autor, um dos principais motivos que justifica a maior resistência a absorção de água em pellets carbonizados

é que esta etapa de torrefação modifica a natureza higroscópica da biomassa devido à remoção de ligações hidrofílicas de O-H durante a decomposição térmica.

5.5.4 Teste de queima dos briquetes no combustor e caldeira

Em relação ao teste de combustão realizado no combustor, verificou-se que as temperaturas alcançadas variaram com o tipo de biomassa utilizada. Os briquetes com maior índice de combustão encontrados foram os de caroço de açaí com ICMO $0,8234 \pm 0,04$, enquanto que os de cascas de cupuaçu e murumuru foram $0,7309 \pm$ e $0,5829 \pm 0,02$, respectivamente.

A Figura 31 apresenta o comportamento gráfico do teste de combustão onde os briquetes de casca de murumuru alcançaram as maiores temperaturas (575°C) seguidos de casca de cupuaçu (545°C) e caroço de açaí (416°C). Observa-se que a faixa de tempo em que as espécies atingiram maiores temperaturas estão nos primeiros 10 minutos para o M60/20 com perda de massa de 25%, para C60/20 no intervalo de 20 e 25 minutos com perda de massa (83,31%) e para A60/20 com 40 minutos com perda de massa (81,54%).

Após o intervalo de 50 a 55 minutos de queima os briquetes C60/20 e A60/20 alcançaram perda de massa de 94,52% e 94,42%, respectivamente. Para os briquetes M60/20, apesar de apresentarem as maiores temperaturas, o tempo total de queima foi o menor (40 minutos) com a massa total consumida de 89,67%. Desta forma, apesar do M60/20 apresentar maior poder calorífico, este consome maior porcentagem de massa em menor tempo com picos de variações na geração de calor, o que não é desejável pois torna necessário a realimentação frequente desse combustível para manutenção da temperatura. Portanto apesar dos briquetes M60/20 fornecerem maior quantidade de calor, era esperado que o ICMO fosse baixo devido o alto consumo de massa em menor tempo.

Todas as biomassas permanecerão com as temperaturas acima do patamar pré-estabelecido no teste, 150°C até o final do teste.

Os gráficos fornecem informações relevantes na utilização de diferentes biomassas como forma de produzir energia, pois contribui para determinar a quantidade de biomassa necessária para atingir certa temperatura em um dado período de tempo. Estes resultados são superiores aos encontrados por Da Cruz et al. (2016) e próximos aos de Amorim et al. (2015), apesar das condições de trabalho não serem as mesmas.

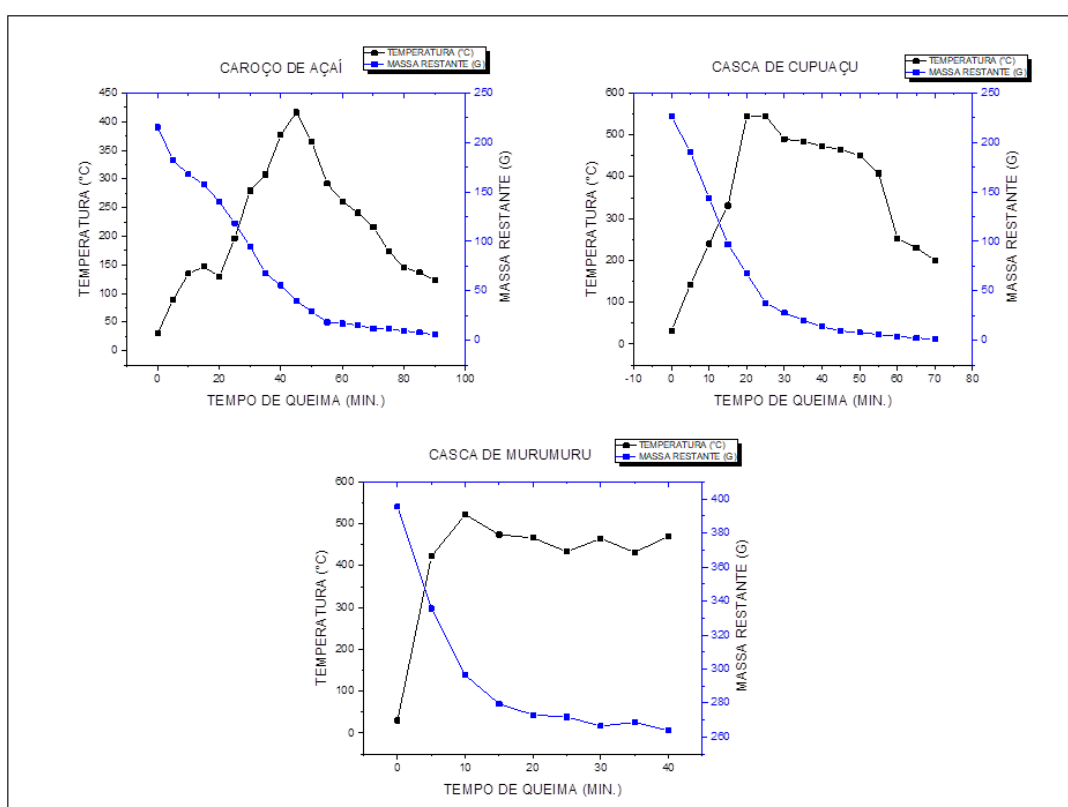
Para os testes na caldeira foi observado que a massa (Kg) de briquete utilizada teve um rendimento aproximadamente 3 vezes maior que o da lenha conforme pode ser visto na Tabela

10. Desta forma, considera-se benéfico e rentável o uso de briquetes como combustível para caldeiras.

Tabela 10. Massa (Kg) de briquete e lenha utilizadas na caldeira.

Material	Massa consumida (Kg)		
	Teste 1	Teste 2	Teste 3
A60/20	18,00	17,00	18,00
Lenha	42,00	46,00	45,00

Figura 31. Temperatura (°C) alcançada e consumo de massa dos briquetes ao longo do tempo de queima dos briquetes.



5.5.5 Teste de resistência à compressão

A resistência à compressão dos briquetes foi determinada para verificar qual o comportamento mecânico destes quando submetidos a uma determinada carga ou esforço, uma vez que é um parâmetro significativo na avaliação quanto ao seu armazenamento e transporte. Segundo Brand et al. (2017) e Zanella (2018) esta análise também avalia a qualidade da compactação feita na etapa de densificação energética, uma vez que briquetes com boa compactação apresentarão boa resistência.

A altura máxima de empilhamento e os demais resultados de resistência mecânica podem ser observada na Tabela 11. Para os briquetes de caroço de açaí e cascas de cupuaçu e

murumuru o tratamento que apresentou maior resistência mecânica foi com a granulometria de 80 mesh, com empilhamento máximo de 2,60 m, 1,44 m e 0,47 m, respectivamente o equivalente a um quantitativo de 48, 26 e 9 briquetes respectivamente.

Desta forma observa-se que os briquetes feitos com caroço de açaí são os mais resistentes, e no que tange a granulometria esta não variou significativamente entre as granulometrias de 60, 65 e 80 mesh com melhores desempenhos para a granulometria de 80mesh.

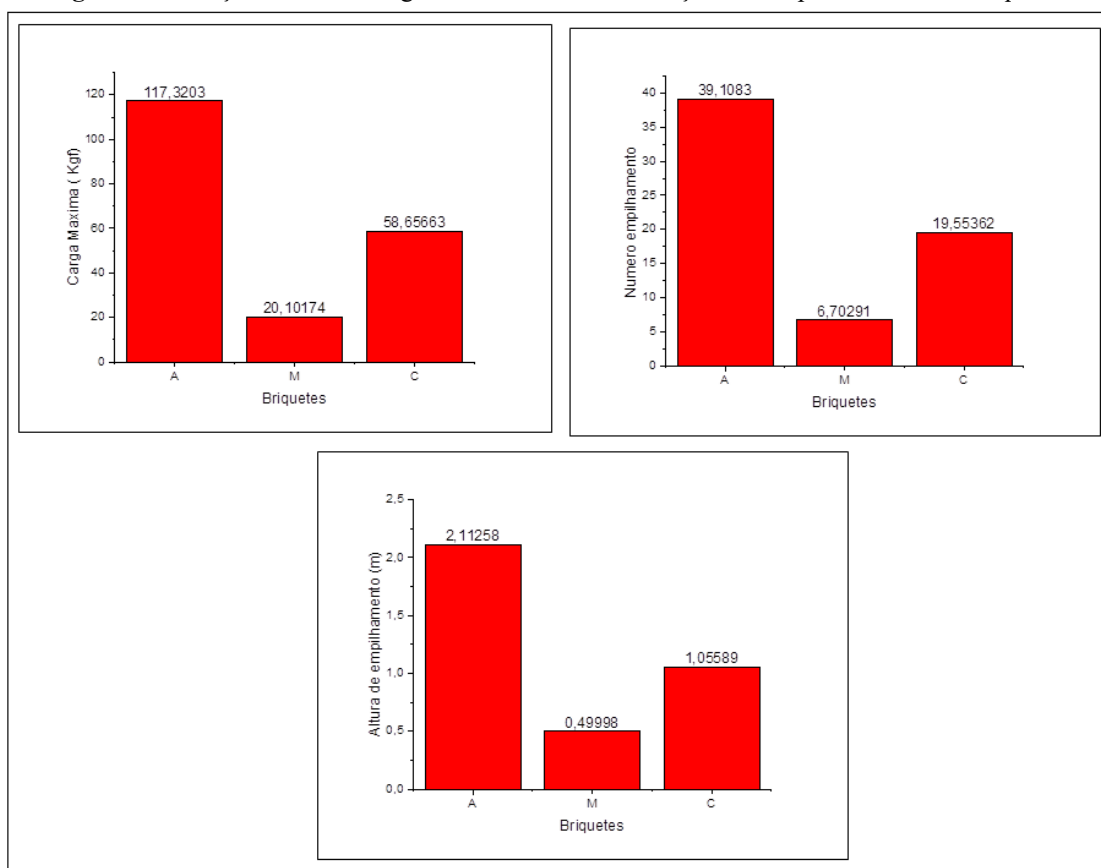
Os briquetes de casca de murumuru apresentaram menor desempenho não suportando nem 1 metro de empilhamento, isto pode ser justificável devido a estrutura do material ser muito lenhosa e nessas condições ocorre apenas um rearranjo de partículas e preenchimento de espaços vazios sem que ocorra deformação das partículas, facilitando a sua desestruturação. Tal comportamento, também foi observado para briquetes produzidos com casca de nozes (Lisowski et al., 2019).

A Figura 32 apresenta os gráficos comparativos entre as resistências mecânicas e a altura de empilhamento de cada biomassa.

Tabela 11. Resultado do teste de resistência mecânica e das características de empilhamento dos briquetes.

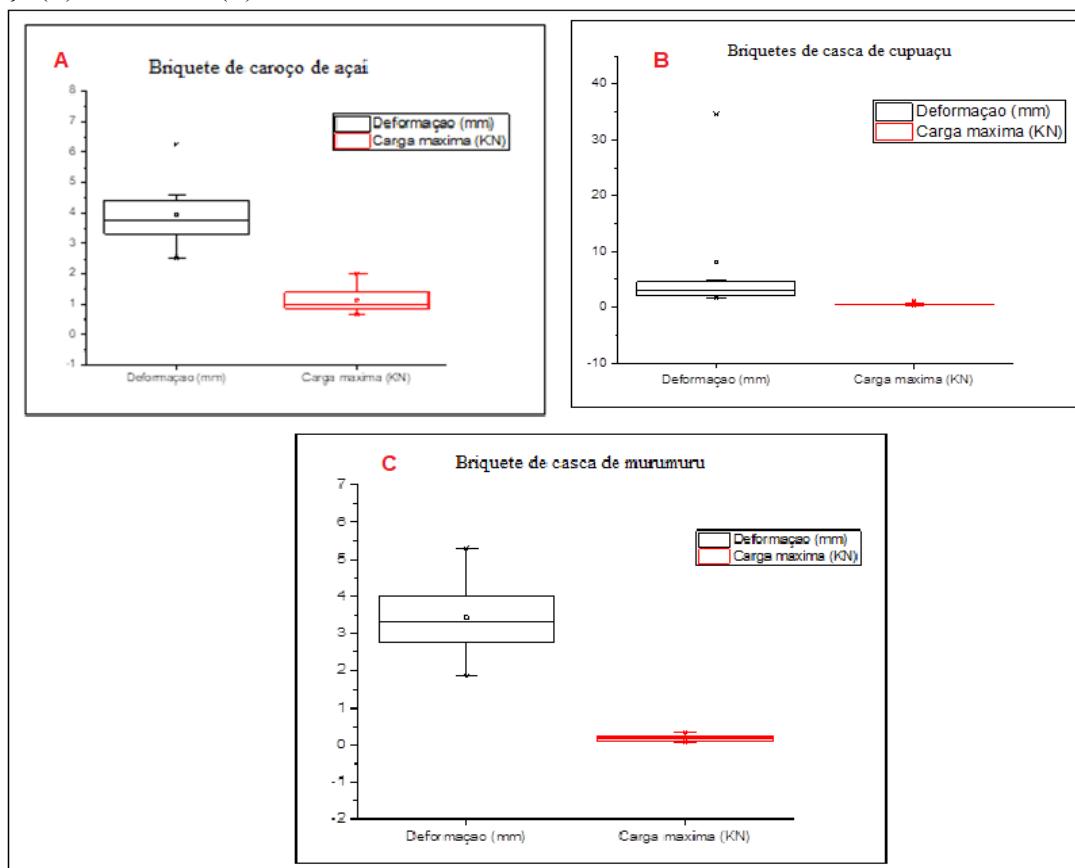
Briquetes	Carga Max. (Kgf)	Nemp	Hemp (m)
A48	80,7	27	1,46
A60	1345,8	45	2,44
A65	109,4	36	1,97
A80	143,1	48	2,60
C48	41,8	14	0,75
C60	56,1	19	1,00
C65	56,7	19	1,00
C80	79,9	26	1,44
M60	8,55	3	0,15
M65	21,63	7	0,35
M80	26,21	9	0,47

Figura 32. Relação média da carga mecânica com as condições de empilhamento dos briquetes.



Quanto a deformação (mm), os resultados dos valores máximos e mínimos são apresentados por box chart (Figura 33A, 33B e 33C). Os briquetes produzidos com caroço de açaí (Figura 34 A) tem como deformação máxima o valor de 4,6 mm e mínimo de 2,5 mm, porém a maior parte dos resultados estão presentes no intervalo de 3,9 mm; já para os resultados de carga máxima a maior carga está em 2,0 KN e menor carga em 0,6 KN os demais resultados estão na faixa de 1,2 KN.

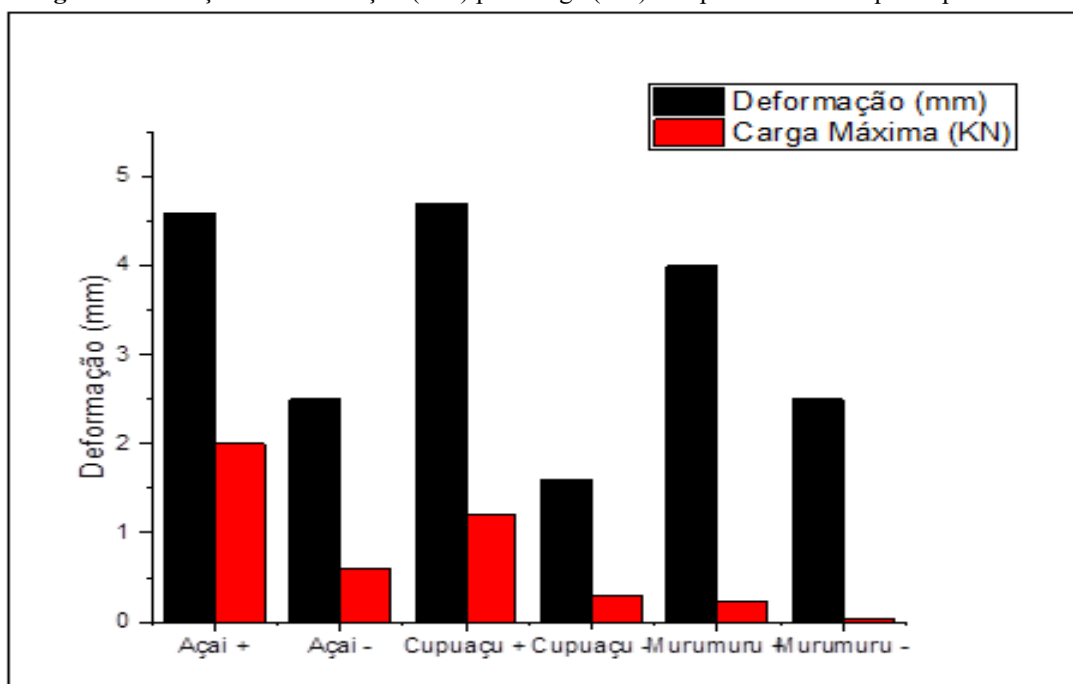
Figura 33. Gráfico para deformação (mm) e carga (KN) para os briquetes de caroço de açaí (A) e cascas de cupuaçu (B) e murumuru (C).



Os briquetes produzidos com casca de cupuaçu (Figura 34B) apresentam deformação máxima no valor de 4,7 mm e mínimo de 1,6mm, porém a maior parte dos resultados está em 1,2KN e menor carga em 0,3 KN os demais resultados estão na faixa de 0,6KN.

Os briquetes oriundos da casca de murumuru (Figura 33C) tem como deformação máxima o valor de 4,0 mm e o mínimo de 2,5 mm mas a maior parte dos resultados está presente no intervalo de 3,3 mm, já para os resultados de carga máxima a maior carga está em 0,230KN e menor carga em 0,04 KN os demais resultado estão na faixa de 0,2KN.

Desta forma quando se analisa a maior carga e menor deformação o melhor resíduo para a produção dos briquetes são os de caroço de açaí por apresentar melhor capacidade de carga e deformação, conforme pode ser observado na Figura 34.

Figura 34. Relação da deformação (mm) pela carga (KN) comparativo dos briquetes produzidos.

5.6 ANÁLISE DE VARIÂNCIA

5.6.1 Densidade aparente dos briquetes

A Tabela 12 evidencia a análise de variância para a densidade aparente dos briquetes obtidos com as três biomassas pesquisadas, na qual constata-se que o tempo de prensagem não é estatisticamente significativo para a densidade aparente de nenhum deles. Para os demais briquetes, exceto o obtido com cascas de cupuaçu, a granulometria foi estatisticamente significativa, para uma confiança de 95%.

Tabela 12. Análise de variância da densidade aparente (g/cm^3) dos briquetes obtidos com os resíduos, em função dos tratamentos (granulometria - G) e blocos (tempo de prensagem - TP).

Biomassa	Fonte de variação	GL	SQ	MQ	F	p
Açaí	TP	2	0,0018	0,0009	0,98	0,4294
	G	3	0,0710	0,0237	24,97	0,0009
	Erro	6	0,0057	0,0009		
	Total	11	0,0785			
Cupuaçu	TP	2	0,0055	0,0027	1,38	0,3222
	G	3	0,0181	0,0060	3,05	0,1141
	Erro	6	0,0119	0,0010		
	Total	11	0,0354			
Murumuru	TP	2	0,0133	0,0066	4,18	0,0731
	G	3	0,0517	0,0172	10,84	0,0078
	Erro	6	0,0095	0,0016		
	Total	11	0,0745			

GL: graus de liberdade, SQ: soma quadrática, MQ: média quadrática, F: estatística de Fisher-Snedecor, p: probabilidade de significância.

Verifica-se na Tabela 13 que a granulometria influencia positivamente na densidade aparente dos briquetes de açaí e de murumuru, nas granulometrias de 65 e 80 mesh, suas densidades são consideradas estatisticamente iguais. Os briquetes formados pelos resíduos de cascas de cupuaçu não sofreram influência de nenhum dos tratamentos e blocos empregados.

Tabela 13. Teste de Tukey para a densidade aparente (g/cm³) dos briquetes obtidos com os resíduos, em função dos tratamentos (granulometria-G) e blocos (tempo de prensagem-TP).

Biomassa	TP (min.)	Granulometria - G (mesh)			
		48	60	65	80
Açaí	10	0,83 a	0,94 b	1,08 c	1,06 c
	20	0,90 a	0,99 b	1,08 c	1,04 c
	30	0,88 a	0,95 b	1,01 c	1,06 c
Cupuaçu	10	0,82 d	0,67 d	0,78 d	0,82 d
	20	0,88 d	0,80 d	0,77 d	0,83 d
	30	0,89 d	0,81 d	0,79 d	0,77 d
Murumuru	10	0,99 e	1,00 e	1,16 f	1,15 f
	20	0,97 e	0,96 e	1,01 f	1,10 f
	30	0,98 e	1,05 e	1,18 f	1,13 f

Médias seguidas por diferentes letras, para a mesma biomassa, indica que houve diferença estatística no teste de Tukey a um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$).

A verificação da validade da análise de variância realizadas para os briquetes obtidos com as biomassas pesquisadas, e por conseguinte a validade das tomadas de decisão com base na ANOVA, para os briquetes confeccionados com resíduos de açaí e cascas de cupuaçu e murumuru estão apresentadas nas Figuras 35 a 38 e a Tabela 14 apresenta os testes de homoscedasticidade para os três materiais.

Em relação a comparação de médias em função da granulometria (G), observa-se na Figura 36 que as densidades aparentes médias para os briquetes de caroço de açaí e casca de murumuru são iguais nas granulometrias 65 e 80 mesh. No caso dos briquetes formados por cascas de cupuaçu não foram observadas diferenças nas densidades médias em função da granulometria.

As demais figuras e tabelas contidas no tópico 5.6.1, constataam que as conclusões formuladas com base na ANOVA estão de acordo com os preceitos da estatística paramétrica, ou seja, independência e normalidade dos resíduos, ausência de pontos extremos (*outliers*) e homocedasticidade.

Figura 35. Média – Briquetes de caroço de açaí (A) e casca de murumuru (B).

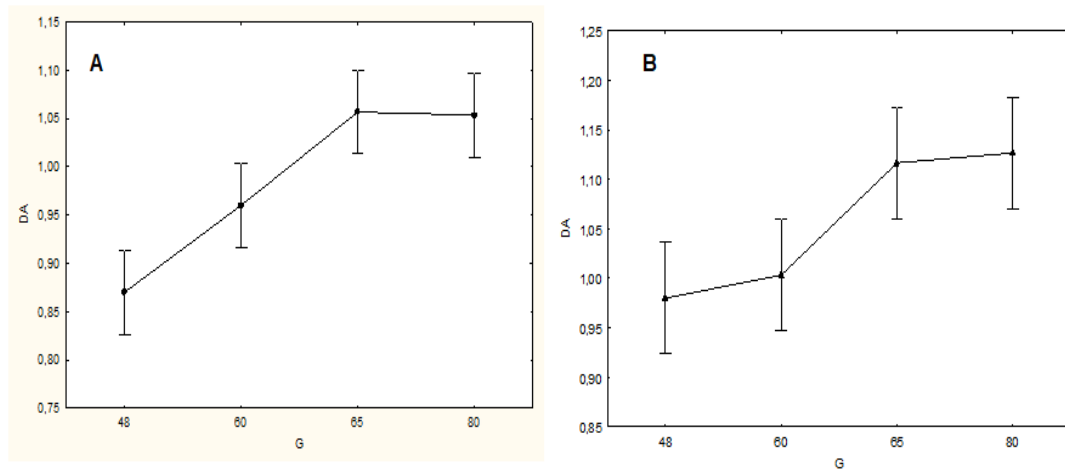


Figura 36. Normalidade - Briquetes de caroço de açaí (A) e das cascas de cupuaçu (B) e murumuru (C).

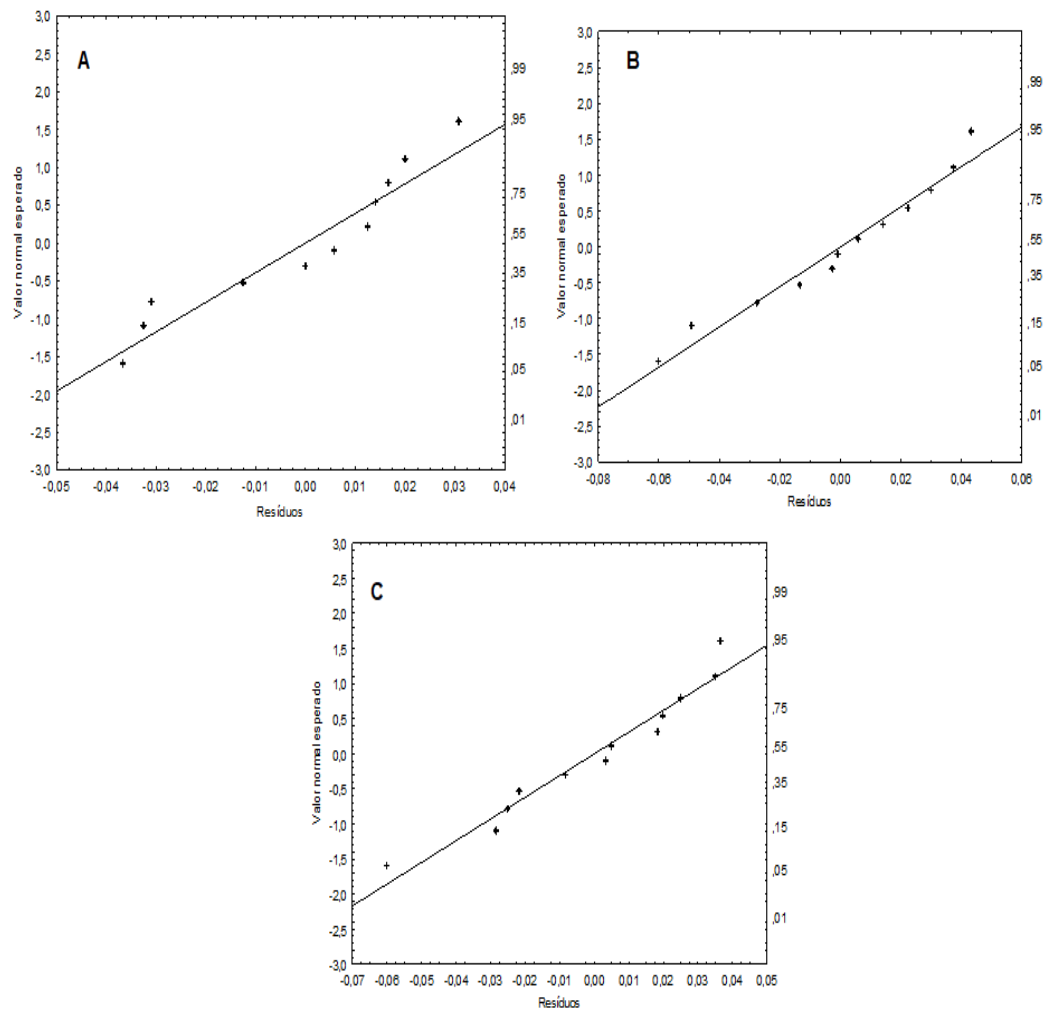


Figura 37. Distribuição de resíduos - Briquetes de caroço de açaí (A) e das cascas de cupuaçu (B) e murumuru (C).

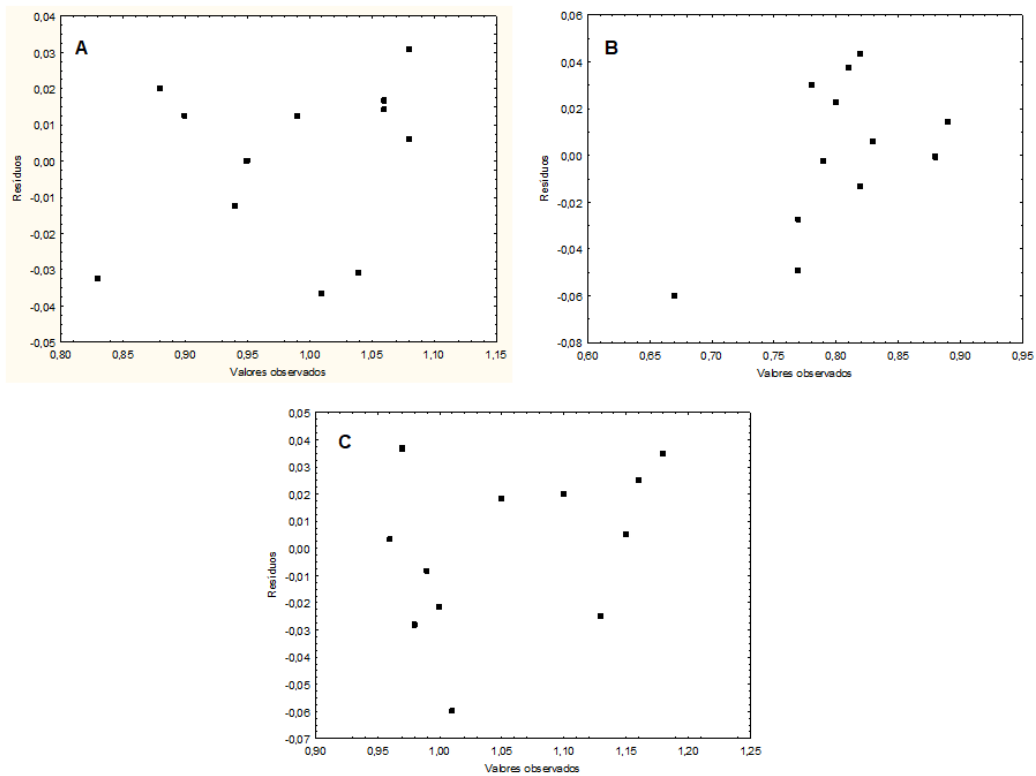


Figura 38. Distribuição de resíduos padronizados- Briquetes de caroço de açaí (A) e das cascas de cupuaçu (B) e murumuru (C).

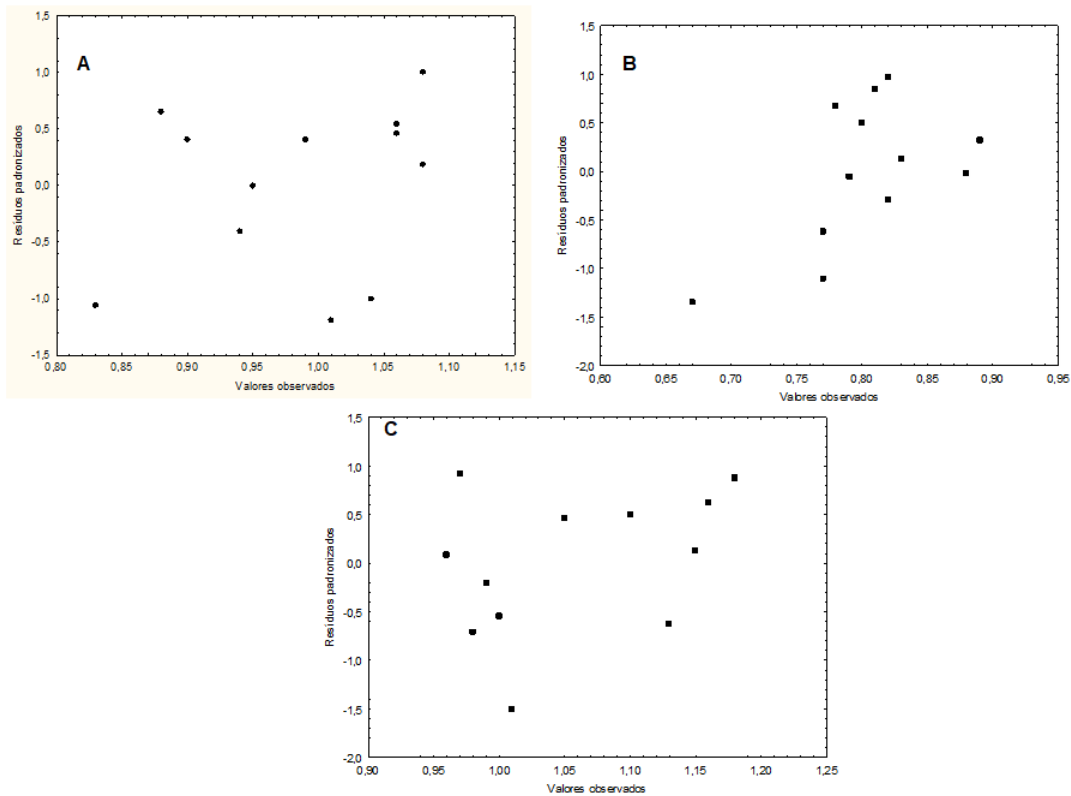


Tabela 14. Testes de homoscedasticidade para as três variedades de briquetes -G

	Hartley - $F_{\text{máx}}$	Cochan - C	Bartlet - χ^2	df	p
Briquete de caroço de açaí	12,25	0,4336	2,2811	3	0,5161
	Levene				
	MS efeito 0,0003	MS erro 0,0001	F 2,12	p 0,1764	
Briquete de casca de cupuaçu	Hartley - $F_{\text{máx}}$	Cochan - C	Bartlet - χ^2	df	p
	61,00	0,7038	5,2871	3	0,1519
	Levene				
	MS efeito 0,0003	MS erro 0,0010	F 0,31	p 0,7422	
Briquete de casca de murumuru	Hartley - $F_{\text{máx}}$	Cochan - C	Bartlet - χ^2	df	p
	86,33	0,7573	6,7586	3	0,0800
	Levene				
	MS efeito 0,0024	MS erro 0,0005	F 5,21	p 0,0276	

5. 6. 2 Densidade energética dos briquetes

Na Tabela 15 estão indicados os parâmetros termofísicos necessários para a determinação da densidade energética (DE), indicada na Tabela 16, em função das granulometrias das biomassas (tratamento influente na resposta desejada), para o tempo mínimo de prensagem (bloco não significativo para a resposta), com base nas Equações 11 e 12.

Tabela 15. Parâmetros termofísicos dos briquetes, em função dos tratamentos (granulometria) após 10 minutos de prensagem.

Biomassa	Tratamentos											
	#48			#60			#65			#80		
	DA	PCI	Ubu	DA	PCI	Ubu	DA	PCI	Ubu	DA	PCI	Ubu
Açaí	0,83	14,52	12,34	0,94	14,50	11,75	1,08	14,59	11,40	1,06	14,54	11,22
Cupuaçu	0,82	14,20	10,72	0,67	14,20	10,80	0,78	14,20	10,48	0,82	14,30	10,18
Murumuru	0,99	14,78	9,77	1,00	14,85	9,64	1,16	14,85	9,70	1,15	13,24	9,50

Tabela 16. Densidade energética dos briquetes (DE – GJ/m³), com as três biomassas em função do tratamento (granulometria), após 10 minutos de prensagem.

Biomassa	Tratamentos			
	#48	#60	#65	#80
Açaí	10,56	12,03	13,96	13,68
Cupuaçu	10,39	12,67	12,71	12,84
Murumuru	13,20	13,42	15,55	13,78

Observa-se na análise dos dados da Tabela 16 que os briquetes obtidos de murumuru tem maiores valores de densidade energética, em todas as granulometrias ensaiadas.

Comparando-se os dados de DA e DE, contidos nas Tabelas 15 e 16, nota-se que o comportamento da densidade energética é semelhante ao comportamento da densidade aparente, onde para maiores valores de DA, encontram-se os maiores valores de DE, numa relação de proporcionalidade direta.

Os resultados encontrados de densidade energética neste trabalho são, em média, 2,5 vezes superiores aos encontrados por Souza e Vale (2016), para briquetes fabricados com resíduos de pinus, tauari, cumaru, casca de arroz, bagaço de cana e torta de pinhão manso, com temperatura, pressão e granulometria como tratamentos, embora com níveis diferentes do trabalho executado com as biomassas de açaí, cupuaçu e murumuru deste trabalho.

Ainda para efeito de comparação, em destaque o murumuru, ressalta que os resultados se encontram superiores aos encontrados por Evaristo et al. (2016) para briquetes produzidos com resíduos de macaúba, palmeira da mesma família, (aracaceae) do murumuru.

6 CONCLUSÃO

A partir das análises preliminares observa-se que as biomassas deste estudo são boas fontes de energia com baixos teores de cinza. A densidade energética das biomassas avaliadas é superior a outras encontradas na literatura, ressaltando o alto potencial energético que bioma local possui para ser utilizado como fonte de energia.

Os briquetes produzidos de caroço de açaí apresentaram maior resistência e qualidade que os demais, seguido pelos produzidos com casca de cupuaçu. Porém, em termos de eficiência energética os briquetes obtidos a partir de resíduos de murumuru são superiores aos demais, com base nos valores experimentais de densidade energética.

O tempo de prensagem não foi uma variável influenciável na produção dos briquetes, logo no menor tempo (10 minutos) obtém-se briquetes com qualidade e durabilidade.

A utilização de briquetes em substituição a lenha para uso na caldeira provou ser mais eficiente do que a lenha convencional. Portanto, a produção e utilização de briquetes a partir do reaproveitamento de resíduos agroindustriais são relevantes para a sustentabilidade e preservação do meio ambiente.

7 SUGESTÕES

Com a finalidade de avaliar completamente a qualidade dos briquetes como combustível, mais estudos serão necessários, usando parâmetros variáveis como mix de biomassas para produção de briquetes compostos. Assim como, a utilização de ligantes naturais ou sintéticos são fatores que devem ser investigados para garantir briquetes mais resistentes bem como o estudo de armazenamento com tempos superiores aos analisados neste trabalho

Realizar um levantamento de custo geral para a produção de briquetes levando em consideração toda a sua estrutura.

E finalmente realizar um estudo mais aprofundado deverão ser feitos no que tange a combustão deste material para utilização na caldeira para os três tipos de biomassa como forma de verificar a eficiência térmica desse combustível.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. V. C.; MELO, I. M.; PINHEIRO, I. S.; FREITAS, J. F.; MELO, A. C. S. Revalorização do caroço de açaí em uma beneficiadora de polpas do município de Ananindeua/PA: proposta de estruturação de um canal reverso orientado pela PNRS e logística reversa. **Revista GEPROS**, v.12, n. 3, 59-83, 2017.

AMORIM, F. S.; RIBEIRO, M. X.; PROTÁSIO, T. P.; BORGES, C. H. A.; COSTA, M. C. Produção de briquetes a partir de espécies florestais. **Revista Verde**, Vol. 10, nº 4, p. 34-41, out-dez, 2015.

ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELETRICA. **Boletim: Balanço Energético Nacional**, 62p, 2017.

ARANHA, T. V.; LOBÃO, R. A. Do extrativismo a produção: experiência de piscicultura em comunidades ribeirinhas de Curralinho - Marajó (PA). **Nova Revista Amazônica**, v.4, edição especial, 2018.

ARAÚJO, A. C. C.; COSTA, L. J.; BRAGA, P. P. C.; NETO, R. M. G.; ROCHA, M. F. V.; TRUGILHO, P. F. Propriedades energéticas da madeira e do carvão vegetal de *Cenostigmacrophylum*: subsídios ao uso sustentável. **Pesq. flor. bras.**, v. 38, 1-9, 2018.

ASSIS, D. F.; LUCENA, R. M. Tecnologia de informação e agricultura familiar: Um estudo de caso em uma pequena propriedade rural em Rondonópolis-MT. **Revista Estudos e Pesquisas em Administração**, v. 2, n. 3, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR - 6922.Carvão vegetal- Ensaio físico – Determinação da massa específica – Densidade a granel**. Rio de Janeiro, 1981.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR – 7217. Agregados: determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR - 8.628.Carvão mineral - Determinação do poder calorífico superior e do poder calorífico inferior - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR - 8112 – Carvão vegetal: análise imediata**. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR - 7222 Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 1994.

AOAC, ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 18.ed, 3000p, 2007.

BAJWA, D. S.; PETERSON, T.; SHARMA, N.; SHOJAEIARANI, J.; BAJWA, S.G. A review of densified solid biomass for energy production. **Register of Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 96, 296–305, 2018.

BARBOSA, A. M. **Compósitos poliméricos com resíduo de açaí para mitigação de efeitos térmicos como estratégias eco-alternativas em habitações na Amazônia**. (Dissertação de mestrado) Universidade Federal do Amazonas, 2016.

BARONI, E. G. **Estudo cinético da pirólise do endocarpo de tucumã (*Astrocaryum aculeatum* G. meyer) para obtenção de biocombustíveis**. (Dissertação de mestrado), Universidade Estadual de Campinas, 2015.

BARSKOV, S.; ZAPPI, M.; BUCHIREDDY, P.; DUFRECHE, S.; GUILLORY, J.; GANG, D.; HERNANDEZ, R.; BAJPAI, R.; BAUDIER, J.; COOPER, R.; SHARP, R. Torrefaction of biomass: A review of production methods for biocoal from cultured and waste lignocellulosic feedstocks. **Renewable Energy**, 142, 624-642, 2019.

BORGES, A. C. P.; SILVA, M. S.; ALVES, C. T.; TORRES, E. A. Energias renováveis: Uma contextualização da biomassa como fonte de energia. **Revista REDE-Revista Eletrônica do Prodema**, v. 10, n. 2, 2017.

BRAND, M. A.; JACINTO, R. C.; ANTUNES, R.; DA CUNHA, A. B. Production of briquettes as a tool to optimize the use of waste from rice cultivation and industrial processing. **Renewable Energy**, 111, 116–123, 2017.

BRASIL, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Boletim Mensal de Energia**. Brasília DF, 2016.

BRASIL, MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE. **Importância atual e potencial do uso da biomassa para energia em Sergipe**. BRASILIA, DF. 2018. 72p.

BRITO, J.O. Expressão da produção florestal em unidades energéticas, In: Congresso Florestal Panamericano 1.: Congresso Florestal Brasileiro, 7. Curitiba: Anais.1993. p. 280-282.

BURKOT, C. R.; AHRENS, R. B. Avaliação de aproveitamento dos resíduos agrícolas para a produção de briquetes ecológicos. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v.9, n. 2, 1860-1874, 2015.

CAMPOS, A., F.; DE GALIZA, J., J., M. Regulação de resíduos sólidos urbanos para geração de energia a partir do biogás: estudo de viabilidades em regiões da grande Vitória/Es. **Revista Augustus**, v. 20, n. 40, 56-69, 2016.

CARVALHO, E. D.; BRINCK, V. (2004). Briquetagem em Tratamento de Minérios. Luz, A.B.; Sampaio, J.A.; Almeida, S. LM (Eds). Tratamento de Minérios. 4ª ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 613-635.

CBIC, Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Energia nas construções: uma contribuição do setor à redução de emissões e de uso de fontes renováveis de energia**. Brasília-DF, 2017.

COELHO, S. T.; GARCILASSO, L. V. P. Geração de eletricidade em comunidades isoladas a partir de resíduos de biomassa: uma opção para a região amazônica. **Revista Inclusão Social**, v.12 n.1, 208-212, 2018.

COUTINHO, B. A. **Aspectos fundamentais da pirólise da casca de cacau: análise da cinética do processo e dos efeitos de condições operacionais sobre o produto**. (Dissertação de mestrado), Universidade Federal do Espírito Santo, 2018.

DA COSTA, J. S. **Biomassa residual para uso energético no estado do Pará**. (Dissertação de mestrado) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém- Pará, 67f, 2018.

DA CRUZ, B. C. C.; DA SILVA, D. A.; DE OLIVEIRA, A. S.; SANTOS, A. B. Produção de Briquetes de Resíduos Agrícolas e de Serraria Acrescido de Resina de Breu Amarelo. **Revista Brasileira de Energia Renováveis**, v.5, n.2, 238-252, 2016.

DA CRUZ, F. T. Agricultura familiar, processamento de alimentos e avanços e retrocessos na regulamentação de alimentos tradicionais e artesanais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 58, n.2, 2020.

DA SILVA, R. M. A. **Desafios da economia solidária no atual cenário político e econômico brasileiro**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, 2016.

DA SILVA, R. M. A. **Economia Solidária e Desenvolvimento Incluyente e Sustentável**. Organização Internacional do Trabalho – OIT. Documento de Trabalho-Economia Social e Solidária: para um desenvolvimento inclusivo e sustentável, Campinas, 2014.

DE MELO, T. G.; SCOPINHO, R. A. Políticas públicas para os assentamentos rurais e cooperativismo: entre o idealizado e as práticas possíveis. **Revista Sociedade e Estado**, v.33, n.1, 2018.

DESHANNAVAR, U. B.; HEGDE, P. G.; DHALAYAT, Z.; PATIL, V.; GAVAS, S. Produção e caracterização de briquetes de base agrícola e estimativa do valor calorífico por análise de regressão: uma aplicação energética. **Ciência de Materiais para Tecnologias de Energia**, v.1, n.2, 175–181, 2018.

DOS SANTOS, E. C. S.; SOUZA, R. C. R.; SEYE, O.; LAU, J.; DE FREITAS, K. T. Aproveitamento da casca do cupuaçuzeiro para a produção de energia. **Anais. 5**. Enc. Energia e Meio Rural, 2004. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br> Acesso em: 29/08/2017.

DREBES, L. M.; SPANEVELLO, R.M. Cooperativas agropecuárias e o desafio da sucessão na agricultura familiar. **Revista HOLLO**, v. 33, n. 2, 360-374, 2017.

EVARISTO, A. B.; GROSSI, J. A. S.; CARNEIRO, A. C. O.; PIMENTEL, S. Y. M.; KUKI, K. N. Actual and putative potentials of macauba palm as feedstock for solid biofuel production from residues. **Biomass and Bioenergy**, v. 85,18-24, 2016.

EVARISTO, R. B. W. **Síntese de Catalisadores a partir de Biomassas Residuais e sua Aplicação na Produção de Biocombustíveis**. (Dissertação de mestrado), Universidade de Brasília, 2018.

FARIÑA, L. O.; BERTOLINI, G. R. F.; MENEGHATTI, M. R. Relação entre a cooperativa e cooperado na agricultura familiar: a busca pela sustentabilidade econômica dos produtores de leite. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade**, v. 7, n. 1, 108-126, 2017.

FAVRO, J.; ALVES, A. F. Agroindústria Delimitação conceitual para a economia brasileira. **Revista de Política Agrícola**, n. 3, 19-36, 2020.

FERNANDES, R. M. C.; MACIEL, A. L. S. **Tecnologias sociais: experiências e contribuições para o desenvolvimento social e sustentável**. In: Fundação Irmão José Otão, 42 p., Porto Alegre, 2010.

FERNÁNDEZ, T. V. El papel del cooperativismo en el desarrollo local: realidades y perspectivas. **Revista COODES**, v. 7, n. 1, 2019.

FILHO, W., B., N.; FRANCO, C., R. Avaliação do Potencial dos Resíduos Produzidos Através do Processamento Agroindustrial no Brasil. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 6, 1968-1987, 2015.

GAETE, A. V.; TEODORO, C. E. S.; MARTINAZO, A. P. Utilização de resíduos agroindustriais para produção de celulase: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, 2020.

GANGIL, S.; BHARGAV, V. K. Influences of binderless briquetting stresses on intrinsic bioconstituents of rice straw based solid biofuel. **Renewable Energy**, 133, 462-469, 2019.

GARCIA, D. P.; CARASCHI, J. C.; VENTORIM, G. Decomposição térmica de pellets de madeira por TGA. **RevistaHolos**, v.1, n.32, 327-339, 2016.

GASPAR, L. M. R.; INÁCIO, C. T.; QUINTAES, B. R.; CARVALHO, L. S. Q.; PERES, A. A. P. Análise econômico-financeira do gerenciamento dos resíduos sólidos orgânicos em uma agroindústria de processamento mínimo de hortaliças. **EngSanitAmbient**. v.25, n.3, 477-488, 2020.

GELINSKI, L. J. N.; FILIPPI, E. E. Desenvolvimentismo e consolidação da agricultura no Brasil. **RevistaAgropampa**, v. 1, n. 1, 2016.

GENDEK, A.; ANISZEWSKA, M.; MALAŤÁK, J.; VELEBIL, J. Evaluation of selected physical and mechanical properties of briquettes produced from cones of three coniferous tree species. **Biomass and Bioenergy**, 117, 173–179, 2018.

GONZÁLEZ-GARCÍA, P. Activated carbon from lignocellulosics precursors: A review of the synthesis methods, characterization techniques and applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 82, 1393–1414, 2018.

GRANADO, M. P. P.; VALENTINOVICH, M. S.; SANTOS, L. R. O.; YAMAJI, F. M.; CONTI, A. C. Effects of pressure densification on strength and properties of cassava waste briquettes. **Renewable Energy**, 167, 306–312, 2021.

HU, Q.; YANG, H.; XU, H.; WU, Z.; LIM, C. J.; BI, X. T.; CHENA, H. Thermal behavior and reaction kinetics analysis of pyrolysis and subsequent in-situ gasification of torrefied biomass pellets. **Energy Conversion and Management**, 161, 205–214, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Pesquisa de Safra de açaí, 2016**. Relatório e Comentários, 2017.

KÜHL, R. M.; DE OLIVEIRA, G. M. T. S. Análises da viabilidade econômica da gaseificação de caroço de açaí no restaurante universitário da universidade federal rural da Amazônia. **Braz. J. of Develop**, v. 5, n. 11, p, 2019.

KYLILI, A.; CHRISTOFOROU, E.; FOKAIDES, P. A. Environmental evaluation of biomass pelleting using life cycle assessment. **Register of Biomass and Bioenergy**, v. 84, p. 107–117, 2016.

LI, Y.; XU, H.; JING, C.; JIANG, J. Um novo modelo de transferência de calor de briquetes de biomassa com base no desenvolvimento secundário em EDEM. **Energia renovável**, 2019.

LIMA, R. P.; LUZ, P. T. S.; BRAGA, M.; BATISTA, P. R. S.; COSTA, C. E. F.; ZAMIAN, J. R.; NASCIMENTO, L. A. S.; FILHO, G. N. R. Murumuru (*Astrocaryum murumuru* Mart.) butterand oil of buriti (*Mauritia flexuosa* Mart.) and pracaxi (*Pentaclethra macroloba* (Willd.) Kuntze) can be used for biodiesel production: Physico-chemical properties and thermal and kinetic studies. **Industrial Crops and Products**, 97, 536–544, 2018.

LISOWSKI, A.; PAJOR, M.; SWIETOCHOWSKI, A.; DABROWSKI, M.; KLONOWSKI, J.; MIESZKALSKI, L.; EKIELSKI, A.; STASIAK, M.; PIATEK, M. Effects of moisture content, temperature, and die thickness on the compaction process, and the density and strength of walnut shell pellets. **Renewable Energy**, 141,770 - 781, 2019.

LOBÃO, M. S. P.; STADUTO, J. A. R. Perspectivas sobre o Desenvolvimento Rural Brasileiro: notas teóricas. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, v. 39, n. 135, 13-27, 2018.

LOPES, A. M.; PACHECO, T. G.; DA SILVA, O. N.; CRUZ, L. M. BALSANELLI, E; DE SOUZA, E. M.; PEDROZA, F. O.; ROGALSKI, M. The plastomes of *Astrocaryum aculeatum* G. Mey. and *A. murumuru* Mart. show a flip-flop recombination between two short inverted repeats. **Planta**, 250, 1229–1246, 2019.

LOPES, I. S.; AMARAL, A. S.; OLIVEIRA, M. S.; DOS SANTOS, P. Comunicação, economia solidária e desenvolvimento social. **Revista Ciência em Extensão**, v.12, n.2, p.26-36, 2016.

LÓPEZ, P. A. B. **Avaliação da cadeia produtiva do cupuaçu (*theobroma grandiflorum* (willd. exspreng.) schum.) nos municípios de Itacoatiara, Presidente Figueiredo e Manaus.** (Dissertação de mestrado), Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus-Amazonas, 2015.

LUBWAMA, M.; YIGA, V. A. Characteristics of briquettes developed from rice and coffee husks for domestic cooking applications in Uganda. **Register of Renewable Energy**, v. 118, 43-55, 2018.

MARTINS, L. H. S.; KONAGANO, E. M. H.; SOUZA, R. L. B. S.; LOPES, A. S. Análise físico-química de diferentes resíduos agroindustriais para possível utilização na indústria. **Braz. J. of Develop**, v. 6, n. 2, 6936-6948, 2020.

MARTINS, M. A.; CAPPARELLI MATTOSO, L. H. C.; PESSOA, J. D. C. Comportamento térmico e caracterização Morfológica das fibras de mesocarpo e caroço do açaí (*Euterpe oleracea* mart.). **Revista Brasileira Fruticultura**, v. 31, n. 4, 1150-1157, 2009.

MEDEIROS, C. B.; MACHADO, L. C. R.; PEREIRA, L. C. A.; COSTA, I. C. A.; GOMEZ, C. P. Inovação Social e Empreendedorismo Social: Uma Análise Sob a Perspectiva da Economia Solidária. **Revista Gestão.Org**, v. 15, n. 1, 61-72, 2017.

MENDES, L.; BONILHA, M. C.; ICHIKAWA, E. Y.; SACHUK, M. I. Tecnologias Sociais, Biopolíticas e Biopoder: Reflexões Críticas. **Revista eletrônica Cad**, v. 13, n. 4, 2015.

MENDES, R. C.; LOURINHO, M. T.; LOURINHO, D. B.; LOPES, W. E. A.; COSTA, P. S. S. Sustentabilidade na produção de resíduos: proposta de reaproveitamento dos resíduos sólidos em uma fábrica de açaí. **R. gest. sust. ambient.**, v. 9, n. 3, 763-780, 2020.

MENDONÇA, R. M. **Pericarpo de cupuaçu (*Theobromagrandiflorum*) como aditivo retardante da cura de poliéster**. (Tese de doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 124f, 2018.

MESQUITA, A. L.; BARRERO, N. G.; FIORELLI, J.; CHRISTOFORO, A. L.; DE FARIAS, L. J. G.; LAHR, F. A. R. Eco-particleboard manufactured from chemically treated fibrous vascular tissue of acai (*Euterpeoleracea Mart.*) Fruit: A new alternative for the particleboard industry with its potential application in civil construction and furniture, **Register of Industrial Crops & Products**, v. 112, 644-651, 2018.

NAKASHIMA, G. T.; ADHMANN, I. C. S.; HANSTED, A. L. S.; BELINI, G. B.; WALDMAN, W. R.; YAMAJI, F. M. Materiais Lignocelulósicos: Caracterização e Produção de Briquetes. **Revista Virtual de Química**, v 9, n. 1, 50-162, 2017.

NASCIMENTO, E. P.; CAMPOS, M. C. C.; ALHO, L. C.; SILVA, D. M. P.; WECKHER, F. C.; MANTOVANELLI, B. C.; CUNHA, J. M. Crescimento das mudas de cupuaçu (*Theobromagrandiflorum*) sob efeito de diferentes composições de biofertilizantes. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde, Três Corações**, v. 15, n. 2, 861-870, 2017.

NAVARRO, Z. Desenvolvimento rural no Brasil: os limites do passado e os caminhos do futuro. **Revista Estudos Avançados**. v. 15, n. 43, 2001.

NOVAES; H. T.; DIAS, R. **Contribuições ao Marco Analítico-Conceitual da Tecnologia Social**. In: DAGINO, R. Tecnologia Social, ferramenta para construir outra sociedade. 17-53, 2009.

NUNES, L. A.; SILVA, M. L. S.; GERBER, J. Z. E. DE A.; KALID, R. Resíduos de casca de coco verde: Diagnóstico do descarte e aplicações para uso em outros produtos. **Journal of Cleaner Production**, 2020.

OKOT, D. K.; BILSBORROW, P. E.; PHAN, A. N. Effects of operating parameters on maize COB briquete quality. **Register of Biomass and Bionergy**, v. 112, 61-72, 2018.

OLIVEROS, A. S.; MUÑOZ, E. O.; ARIZA, I. P.; BARRAZA, C. A.; ARRIETA, A. A. Estudio TG-MS de la gasificación del carbonizado de la cáscara de Copoazú (*Theobroma Glandiflorum*). **INGE CUC**, v. 15, n. 1, 25-35, 2019.

ORELLANA, B. B. M. A.; DO VALE, A. T.; ORELLANA, J. B. P.; CHAVES, B. S.; MOREIRA, A. C. O. Caracterização de resíduos agroindustriais da região do distrito federal para fins energéticos. **Energia na Agricultura**, v. 35, n. 1, 46-61, 2020.

PADILLA, E. R. D.; PIRES, I. C. S. A.; YAMAJI, F. M.; FANDIÑO, J. M. M. Produção e Caracterização Físico-Mecânica de Briquetes de Fibra de Coco e Palha de Cana-de-Açúcar. **Revista Virtual de Química**, v. 8, n. 5, 1334-1346, 2016.

PESCE, Celestino. **Oleaginosas da Amazônia**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi. Belém, v.5, n.2, 2009.

PINTO, N. G. M.; CORONEL, D. A. Degradação ambiental nos municípios do Rio Grande do Sul e relação com os fatores de desenvolvimento rural. **Rev. RESP**, v. 53, n. 2, p. 271-288, 2015.

QUIRINO, W. F. **Utilização energética de resíduos vegetais**. Brasília: LPF/IBAMA, 2003. 14p.

QUIRINO, W. F.; BRITO, J. O. **Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal**. Brasília, DF: IBAMA, Laboratório de Produtos Florestais, 1991. (Série técnica, n. 13).

RAMBO, M. K. D.; SCHMIDT, F. L.; FERREIRA, M. M. C. Analysis of the lignocellulosic components of biomass residues for biorefinery opportunities. **Talanta**, v. 144, 696–703, 2015.

RANGE, I. C.; DA SILVA, F. F.; DE SOUZA, C. L. M.; ERTHAL, M.; SHIMOYA, G. A. G. Normas e padrões para produção de biomassa compactada no mundo: em breve o Brasil terá a sua?, **Revista Acta Biomedica Brasiliensia**, v. 9, n. 1, 2018.

REGO, F.; DIAS, A. P. S.; CASQUILHO, M.; ROSA, F. C.; RODRIGUES, A. Fast determination of lignocellulosic composition of poplar biomass by thermogravimetry. **BiomassandBioenergy**, v.122, 375–380, 2019.

RESENDE, C. M.; MAFRA, R. L. M. Desenvolvimento Rural e Reconhecimento: tensões e dilemas envolvendo o Pronaf. **Revista RESR**, v. 54, n. 2, 261-280, 2016.

RIBEIRO, E. A. S. **Sistemas produtivos, disponibilidade de biomassa e atributos energéticos de caroço de açaí e resíduos de reservas familiares, em várzeas**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Amapá. Macapá, 2017.

RODRIGUES, I.; BARBIERI, J. C. A emergência da tecnologia social: revisitando o movimento da tecnologia apropriada como estratégia de desenvolvimento sustentável, **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 42, n. 6: 1069-94, nov./dez. 2008.

RODRIGUES, L. J.; HELMER, M. C. M.; DEVENS, P. R. F.; FONSECA, G. S. Produção de briquetes para queima utilizando finos da produção de carvão vegetal e glicerina. **Revista HOLOS**, v. 1, n. 33, 2017.

SATO, M. K. **Biocarvão de resíduos de açaí como condicionante de solos**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, 2018.

SAWADOGO, M.; TCHINI TANO, S.; SIDIBÉ, S.; KPAI, N.; TANKOANO, I. Produção mais limpa em Burkina Faso: Estudo de caso de briquetes de combustível feitos de resíduos da indústria do caju. **Journal of Cleaner Production**, v.195, 1047–1056, 2018.

SCHINEIDER, Sergio. Situando o desenvolvimento rural no contexto e as questões em debate. **Revista de Economia Política**, v. 30, n. 3 (119), pp. 511-531, 2010.

SEDAP, SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO AGROPECUARIO E DA PESCA. **Programa de Desenvolvimento da Cadeia Produtiva do Açaí no Estado do Pará - PROAÇAÍ – PA**. Belém, 2016.

SHUMA, R.; MADYIRA, D. M. Production of Loose Biomass Briquettes from Agricultural and Forestry Residues. **Register of Procedia Manufacturing**, v. 7, 98-105, 2017.

SILVA, R. F.; FILHO, M. V. C.; Território e economia solidária: relações relevantes para a construção do desenvolvimento sustentável. **Rev. Mercado de Trabalho**, v. 64, 2018.

SILVA, V. V.; SIQUEIRA, W. C.; ABRAHÃO, S. A.; MORALES, M. M.; GUEDES, D. M. Produção e caracterização física-mecânica de briquetes produzidos a partir de resíduos de marcenaria para fins energéticos. **Braz. J. of Develop.**, v. 5, n. 7, 8880-8903, 2019.

SILVEIRA, M. S. **Aproveitamento das cascas de coco verde para produção de briquete em Salvador – BA.** (Dissertação de mestrado), Universidade Federal da Bahia. 2008.

SINGER, P. **Introdução à Economia Solidária.** 1ª Ed., São Paulo, Editora Fundação Perseu Abromo, 2002.

SOARES, L.S.; MORIS, V.A.S.; YAMAJI, F.M.; PAIVA, J.M.F. Utilização de Resíduos de Borra de Café e Serragem na Moldagem de Briquetes e Avaliação de Propriedades. **Revista Matéria**, v.20, n.2, 550 – 560, 2015.

SOUZA, F.; VALE, A.T. Densidade energética de briquetes de biomassa lignocelulósica e sua relação com os parâmetros de briquetagem. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 88, p. 405-413, out./dez. 2016.

TAVARES, M. A. M. E.; TAVARES, S. R. L. Perspectivas para a participação do Brasil no mercado internacional de pellets. **Revista HOLOS**, v. 5, n. 31, 2015.

TAVARES; M. A. M. E.; TAVARES, S. R. L.; MOREIRA, I. T. Produção de briquetes para amenizar a pressão antrópica sobre o bioma caatinga na região do Baixo-Açu Potiguar. **Revista HOLO**, v. 5, n. 31, 2015.

TRICHES, R. M.; SCHNEIDER, S. Alimentação, sistema agroalimentar e os consumidores: novas conexões para o desenvolvimento rural. **Revista Cuad. Desarro. Rural**, v. 12, n. 75, 2015.

VALE, A. T. et al. Caracterização energética e rendimento da carbonização de resíduos de grãos de café (*Coffea arabica* L.) e de madeira (*Cedrelinga catenaeformis*, Duke). **Cerne**. n. 13, p. 416-420, 2007.

VIEIRA, N. A. D. **Obtenção de briquetes a partir da casca do arroz e avaliação do seu potencial energético.**(Trabalho de conclusão de curso), Centro Universitário Univates, 107f, 2014.

WANG, Q.; HAN, K.; GAO, J.; LI, H.; LU, C. The pyrolysis of biomass briquettes: Effect of pyrolysis temperature and phosphorus additives on the quality and combustion of bio-char briquettes. **Fuel**, v.199, 488–496, 2017.

WANG, Y., WU, K., SUN, Y. Effects of raw material particle size on the briquetting process of rice straw. **Journal of the Energy Institute**, v.91, n.1, 153–162, 2018.

WU, S; ZHANG, S; WANG, C; MU, C.; HUANG, X. High-strength charcoal briquette preparation from hydrothermal pretreated biomass wastes. **Fuel Processing Technology**, v.171, 293–300, 2018.

YANG, Y; SUN, M; ZHANG, M; ZHANG, K; WANG, LEI, C. A fundamental research on synchronized torrefaction and pelleting of biomass. **Renewable Energy**, v.142, 668-676, 2019.

ZANELLA, K. **Produção de briquetes de carvão vegetal por meio do beneficiamento do bagaço da laranja (*Citrus sinensis*)**. (Tese de doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, 2018.

ZERBINATTI, O. E.; DA SILVA, A. B.; PEREIRA, A. J.; MIRANDA, J. M. Briquetagem de resíduos de cafeeiro conduzido no sistema safra zero, **Revista Ciências Agrárias**, v. 35, n. 3, 1143-1152, 2014.

ZHANG, J.; ZHENG, D.; WU, K.; ZHANG, X. The optimum conditions for preparing briquette made from millet bran using Generalized Distance Function. **Renewable Energy**, v.140, 692-703, 2019.

APENDICE I**CARTILHA**



Manual de Boas Práticas para Fabricação de **BRIQUETES**

Keila Diniz Campos - Dra. Maria Regina Sarkis Peixoto Joele - Dr. Lênio José Guerreiro de Faria



MAIS CALOR



MENOS FUMAÇA



MAIOR DURAÇÃO



MENOS SUJEIRA



Programa de Pós-graduação
em Desenvolvimento Rural e Gestão de Empreendimentos Agroalimentares



IFPA-CASTANHAL
2021

Programa de Pós-graduação
em Desenvolvimento Rural e Gestão de Empreendimentos Agroalimentares

Keila Diniz Campos

Dra. Maria Regina Sarkis Peixoto Joele

Dr. Lênio José Guerreiro de Faria

Manual de Boas Práticas para Fabricação de BRIQUETES

MAIS CALOR

MENOS FUMAÇA

MAIOR DURAÇÃO

MENOS SUJEIRA



IFPA-CASTANHAL

2021

FICHA TÉCNICA

Realização

Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento Rural
e Gestão de Empreendimentos Agroalimentares (PPDRGEA)

Propriedade:

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará - Campus
Castanhal.

Elaboração do Conteúdo:

Keila Diniz Campos.

Diagramação:

Dário Gean da Silva - dariosinfo@gmail.com.

Agradecimento:

COFRUTA e todos os colaboradores envolvidos.

Revisão do Conteúdo:

Dra. Maria Regina Sarkis Peixoto Joele
Dr. Lênio José Guerreiro de Faria

Apoio:

Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação
(PROPPG-IFPA)

Claudio Alex Jorge da Rocha
Reitor

Ana Paula Palheta Santana
**Pró-reitora de Pesquisa e Pós-graduação
IFPA- Campus Castanhal**

Adebaro Alves dos Reis
Diretor Geral

Luís André Luz Barbas
**Diretor de Pesquisa, Pós-graduação, Extensão
e Inovação.**

Maria Regina Sarkis Peixoto Joele
**Coordenadora do Programa de Pós-Graduação
em Des. Rural e Gestão de Empreendimentos
Agroalimentares (PPDRGEA)**



Ficha Catalográfica

Dados para catalogação na fonte
Setor de Processamento Técnico Biblioteca
IFPA - Campus Castanhal

C198m Campos, Keila Diniz

Manual de boas práticas para fabricação de Briquetes / Keila Diniz
Campos. – Castanhal: IFPA; PPGDRGEA , 2021.

20 p. ; il.

ISBN 978-65-87415-17-8

1. Briquete ecológico – Abaetetuba (PA). 2. Biomassa –
Abaetetuba (PA). 3. Energia da biomassa I. Título.

CDD: 333.9539098115

Biblioteca/Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Bibliotecária Leontina da Cunha Nascimento – CRB-2: 970

**Grupos de Pesquisa vinculados ao Programa de Pós-Graduação
em Desenvolvimento Rural e Gestão de Empreendimentos
Agroalimentares - (PPDRGEA)**

Cooperativismo, Economia Solidária e Desenvolvimento
Rural Sustentável da Amazônia - GECCOPES

Grupo de Estudos em Fisiologia Aplicada à Aquicultura de
Espécies Tropicais - GEFAET

Grupo de Pesquisa em Sementes e Mudanças na Amazônia
- GPSEM

Núcleo de Estudos em Educação e Agroecologia na
Amazônia - NEA

Núcleo de Estudos em Engenharia, Ciência e Tecnologia de
Alimentos - NEECTA

Núcleo de Pesquisa em Ciências do Solo e Água na
Amazônia - NUPECSA

Saberes, Educação, Interculturalidade e Variações
Temáticas sobre a Amazônia - SEIVA

Linguagens, Cultura, Tecnologias e Inclusão - LICTI
Gestão, Experimentação e Modelagem Aplicada à
Biosistemas - GEMABIO

Ciências do Mapeamento dos Ambientes Amazônicos
- CMAA

Apresentação

Este material busca contribuir com a Cooperativa de Fruticultores de Abaetetuba/Pa para a produção de briquetes dos principais resíduos gerados durante o processamento da cooperativa cujo os resíduos de maior volume são os de caroço de açaí e as cascas de cupuaçu e murumuru como uma alternativa sustentável para produção de energia.

As Boas Práticas para Fabricação dos Briquetes visa melhorar as ações/técnicas para fabricação dos briquetes garantindo a segurança jurídica e de saúde dos operadores.

Todas as informações aqui contidas foram elaboradas em colaboração com os cooperados e parceiros do projeto.

Finalidade

Esta cartilha tem como finalidade orientar a produção de briquetes simples a partir da utilização de prensa hidráulica como alternativa para o reaproveitamento dos resíduos gerados pela cooperativa.



O que é o Brique

A Briquetagem é um processo que transforma biomassa ou outra matéria orgânica, com ou sem ligante, em um material com formato regular que pode ser usado como combustível em caldeiras ou fornos industriais.

Os briquetes são blocos com diferentes geometrias transversais (hexagonais, cilíndricas ou cubóides), diâmetro entre 50 a 100 mm e comprimento variando de 60 mm a 200 mm.

Briquetes compostos possuem em sua composição mais de um tipo de material.

Toda biomassa pode ser transformada em energia, contribuindo com a preservação da natureza e a economia de energia.



Principais Vantagens

1 m³ de briquetes contém quatro vezes mais energia se comparado com 1 m³ de resíduo na forma original.

Contribui com o meio ambiente por ser menos poluente.

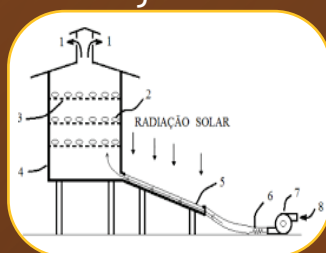
- Alto poder calorífico
- Regularidade térmica
- Não emite fumaça
- Não produz cheiro
- Durabilidade 2 vezes maior
- Armazenamento em menor espaço
- Tamanhos padronizados
- Fácil manuseio

Etapas para produção dos Briquetes

Biomassa



Secagem Solar



Pó



Moagem



Briquetagem



Briquetes



Etapa 1 - Obtenção da Biomassa

Para a produção de briquetes simples, sem adição de ligantes naturais ou sintéticos, podem utilizadas biomassas do processamento das agroindústrias, como o caso da COFRUTA.

As biomassas trabalhadas: caroço de açaí e as cascas de cupuaçu e murumuru

As biomassas passaram por processo de secagem, moagem e prensagem para confecção dos briquetes.

O excesso de fibra do caroço de açaí é separado, retido na peneira.

São necessárias áreas separadas para os resíduos coletados dos resíduos secos e triturados.

Etapa 2 - Secagem do material

Secar o material até umidade de 8 a 12%.

Recomenda-se que estufas estejam localizadas na orientação Leste-Oeste, em posição de máxima insolação, sem sombreamento e com abertura de ventilação contra a direção do vento de forma a favorecer a entrada do ar.

Fig. 1: Secador Solar



Fonte: Keila Campos (2020)

Se necessário,
quebrar ou triturar
o material para
secar.



Etapa 3 - Moagem do material

A primeira moagem do material deve ser feita em triturador industrial, utilizando peneira com diâmetro de 3mm para não entupir.

Na segunda moagem utilizar peneiras entre 0,175mm e 0,245mm, para confeccionar os briquetes.

Fig. 2: Moagem das Biomassas / Moedor



Fonte: Keila Campos (2020)



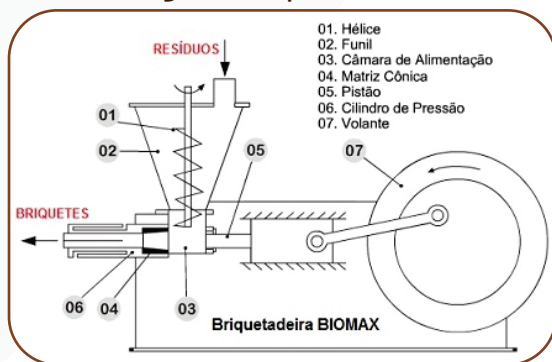
Não esquecer dos EPIs:
abafador de ruído,
óculos, mascara,
avental, bota luvas

Etapa 4 - Prensagem da Biomassa

A produção de briquetes simples sem adição de ligantes com pequena demanda podem ser prensados em prensa hidráulica que suporte no mínimo uma carga de 15 toneladas.

Para uma demanda de médio a grande porte é recomendado o uso de briquetadeira. A capacidade vai depender da quantidade de resíduo gerado, tamanho e capacidade de produção dos briquetes

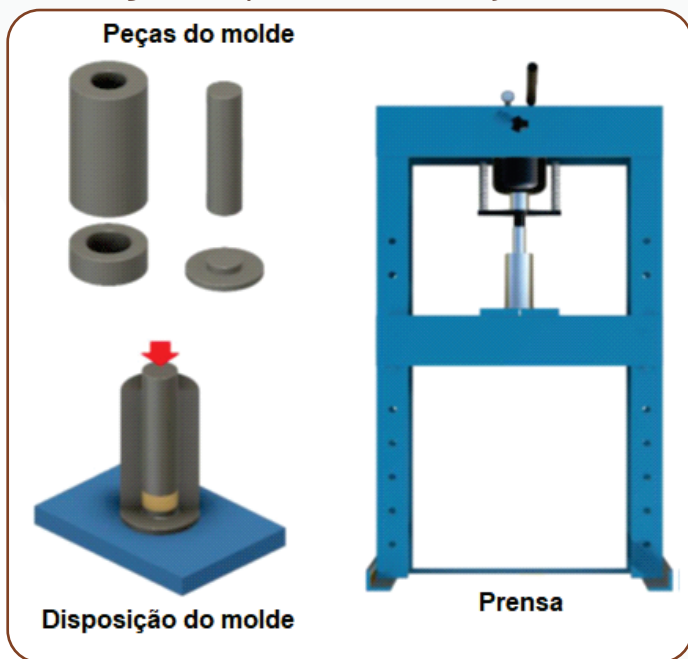
Fig. 3: Briquetadeira



Fonte: biomaxind.com.br

Em prensa hidráulica: pesar cerca de 100g do material e prensar com uma carga de 15 toneladas por 15 minutos.

Fig. 4: Esquema de Prensagem



Fonte: Granado et al. (2021).

Molde

- Parede de aço fundido
- Diâmetro interno: 52 mm
- Altura: 150 mm
- Espessura: 4 mm



Etapa 5 - Armazenamento

Para 15 t de briquete são necessários 25 m², que pode ser próximo a fornalha, o que equivale a 90 m³ de lenha aproximadamente.

Local seco e arejado, preferencialmente em cima de palletes ou outro tipo de material isolando o produto da umidade do chão.

Empilhamento máximo dos briquetes:

- Caroco de açaí - altura de 2m, ou 40 unidades em média;
- Casca de cupuaçu altura de 1m, ou 20 unidades em média;
- Casca de murumuru são mais frágeis por isso não ultrassar a altura de 30 cm, ou 9 unidades.



Viabilidade Econômica

O nível de automatização variam de acordo com a capacidade produtiva da unidade.

Não há custo com a matéria prima por se tratar de resíduos da cooperativa.

A granulometria e a umidade são parâmetros que influenciarão no custo de produção.

Mercado para os briquetes

Indústrias: alimentícia, siderúrgica, metalúrgica, química, petro-química, vidro têxtil além de pizzarias, churrascarias e panificadora.

Também tem as olarias que utilizam forno como base produtiva.

Referências

- DA COSTA, J. S. **Biomassa residual para uso energético no estado do Pará.** (Dissertação de mestrado) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém- Pará, 67f, 2018.
- DA CRUZ, B. C. C.; DA SILVA, D. A.; DE OLIVEIRA, A. S.; SANTOS, A. B. Produção de Briquetes de Resíduos Agrícolas e de Serraria Acrescido de Resina de Breu Amarelo. **Revista Brasileira de Energia Renováveis**, v.5, n.2, 238-252, 2016.
- GRANADO, M. P. P.; SUHOGUSOFT, Y. V. M.; SANTOS, L. R. O.; YAMAJI, F. .M.; CONTI, A. C. Effects of pressure densification on strength and properties of cassava waste briquettes. **Renewable Energy**, 167, 306-312, 2021.
- QUIRINO, W. F. **Utilização energética de resíduos vegetais.** Brasília: LPF/IBAMA, 2003.14p.
- QUIRINO, W. F.; BRITO, J. O. **Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal.** Brasília, DF: IBAMA, Laboratório de Produtos Florestais, 1991. (Série técnica, n. 13).
- SAWADOGO, M.; TCHINI TANO, S.; SIDIBÉ, S.; KPAI, N.; TANKOANO, I. Produção mais limpa em Burkina Faso: Estudo de caso de briquetes de combustível feitos de resíduos da indústria do caju. **Journal of Cleaner Production**, v.195, 1047-1056, 2018.
- ZANELLA, K. **Produção de briquetes de carvão vegetal por meio do beneficiamento do bagaço da laranja** (*Citrus inensis*). (Tese de doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, 2018.
- ZERBINATTI, O. E.; DA SILVA, A. B.; PEREIRA, A. J.; MIRANDA, J. M. Briquetagem de resíduos de cafeeiro conduzido no sistema safra zero, **Revista Ciências Agrárias**, v. 35, n. 3, 1143-1152, 2014.
- ZHANG, J.; ZHENG, D.; WU, K.; ZHANG, X. The optimum conditions for preparing briquette made from millet bran using Generalized Distance Function. **Renewable Energy**, v.140, 692-703, 2019.

