

REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS COMO PRÁTICA SUSTENTÁVEL PARA GERAÇÃO ENERGIA RENOVÁVEL

Reuse of agroindustrial waste as a sustainable practice for renewable energy generation

Reutilización de residuos agroindustriales como práctica sustentable para la generación de energía renovable

Keila Diniz Campos *

Lênio José Guerreiro Faria **

Maria Regina Sarkis Peixoto Joele ***

* Instituto Federal do Pará - kdcalimentos@gmail.com

** Universidade Federal do Pará - lenio@ufpa.br

*** Instituto Federal do Pará - reginajoele@ifpa.edu.br

Versão online publicada em 03/02/2023 (<http://seer.ufrgs.br/paraonde>)

Resumo:

O desenvolvimento rural de forma sustentável e equilibrada atualmente é uma preocupação nas agroindústrias/cooperativas. E um dos pontos mais importantes são os impactos ambientais ocasionados por atividades agroindustriais, maximizadas pela ausência de um sistema de gerenciamento ambiental adequado por parte da organização. Pois, o descarte inadequado dos resíduos gerados contribui para a poluição dos rios e solos, lixiviação de compostos e proliferação de vetores transmissíveis de doenças acarretando problemas de saúde pública. Portanto, este trabalho traz como proposta uma alternativa de reaproveitamento de resíduos através de tecnologia social eco-eficiente, briquetes ecológicos, capaz de agregar valor econômico e ambiental. Os briquetes são produzidos por um processo de compactação de biomassas, visando aumentar a densidade energética, com granulometria e teor de umidade adequados para serem utilizados nas caldeiras das cooperativas em substituição da lenha convencional. A Cofruta, cooperativa de fruticultores de Abaetetuba, onde a pesquisa foi realizada, fica localizada no município de Abaetetuba, no estado do Pará-Brasil. As biomassas avaliadas foram os resíduos de caroço de açaí e cascas de cupuaçu e murumuru. Todas as biomassas apresentaram características termo físicas com alto potencial energético. Os briquetes produzidos com as cascas de murumuru apresentaram maior eficiência energética, enquanto, os briquetes de caroço de açaí seguidos dos de casca de cupuaçu apresentaram maior resistência e durabilidade.

Palavras-chave: Biomassa. Briquetes. Energia renovável. Meio ambiente.

Abstract:

Rural development in a sustainable and balanced way is currently a concern in agro-industries/cooperatives. And one of the most important points is the environmental impacts caused by agro-industrial activities, maximized by the absence of an adequate environmental management system on the part of the organization. Therefore, the inadequate disposal of generated waste contributes to the pollution of rivers and soils, leaching of compounds and proliferation of communicable vectors of diseases causing public health problems. Therefore, this work proposes an alternative for the reuse of waste through eco-efficient social technology, ecological briquettes, capable of adding economic and environmental value. The briquettes are produced by a biomass compaction process, aiming to increase the energy density, with adequate granulometry and moisture content to be used in cooperatives' boilers to replace conventional firewood. Cofruta, cooperative of fruit growers in Abaetetuba, where the research was carried out, is located in the municipality of Abaetetuba, in the state of Pará-Brazil. The evaluated biomasses were the residues of açai seeds and cupuaçu and murumuru husks. All biomasses presented thermophysical characteristics with high energy potential. The briquettes produced with murumuru husks showed greater energy efficiency, while the açai seed briquettes followed by cupuaçu husk briquettes showed greater strength and durability.

Key-words: Biomass. Briquettes. Renewable energy. Environment.

Resumen:

El desarrollo rural de forma sostenible y equilibrada es actualmente una preocupación en las agroindustrias/cooperativas. Y uno de los puntos más importantes son los impactos ambientales causados por las actividades agroindustriales, maximizados por la ausencia de un adecuado sistema de gestión ambiental por parte de la organización. Por lo tanto, la disposición inadecuada de los residuos generados contribuye a la contaminación de ríos y suelos, lixiviación de compuestos y proliferación de vectores transmisibles de enfermedades causantes de problemas de salud pública. Por ello, este trabajo propone una alternativa para la reutilización de residuos a través de tecnología social ecoeficiente, briquetas ecológicas, capaces de agregar valor económico y ambiental. Las briquetas son producidas por un proceso de compactación de biomasa, con el objetivo de aumentar la densidad energética, con granulometría y contenido de humedad adecuados para uso en calderas de cooperativas en sustitución de la leña convencional. Cofruta, cooperativa de fruticultores de Abaetetuba, donde se realizó la investigación, está ubicada en el municipio de Abaetetuba, en el estado de Pará-Brasil. Las biomásas evaluadas fueron los residuos de semillas de açai y cáscaras de cupuaçu y murumuru. Todas las biomásas presentaron características termofísicas con alto potencial energético. Las briquetas producidas con cascarilla de murumuru mostraron mayor eficiencia energética, mientras que las briquetas de semilla de açai seguidas de las briquetas de cascarilla de cupuaçu mostraron mayor resistencia y durabilidad.

Palabras-clave: Biomasa. Briquetas. Energía renovable. Medio ambiente.

INTRODUÇÃO

As questões sobre o desenvolvimento rural têm ocupado relevante espaço no meio acadêmico e nas agendas de organizações políticas do mundo, nas últimas três décadas. As transformações nas relações sociais e econômicas das comunidades rurais tem emergido e se intensificado o debate sobre o tema (SCHNEIDER, 2010).

O desenvolvimento rural vem sofrendo transformações significativas na sua concepção, não podendo mais ser visto apenas do ponto de vista do setor produtivo rural e criador de excedentes para a comercialização no mercado global. Novas dinâmicas, elementos e atores passaram a existir ou a se alterar nos últimos anos. A valorização da produção familiar, a incorporação de atividades não agrícolas, a transformação de bens intangíveis em econômicos, os novos padrões e formatos de produção demonstram algumas dessas transformações (VEIGA, 2000; LOBÃO; STADUTO, 2018).

Frente a esse cenário de mudanças e avanços de desenvolvimento as organizações das cooperativas agroindustriais estão cada vez mais fortalecidas, contribuindo para maior produção, como é o caso das cooperativas voltadas ao processamento de alimentos. Por outro lado, esse aumento na produção tem acarretado alguns problemas ambientais e sociais com é o caso do descarte inadequado dos resíduos gerado durante o processamento dos alimentos, devido a dificuldade da construção de um sistema de gerenciamento dos resíduos por parte das organizações (SIMON; WOLFF, 2012; LOBÃO; STADUTO, 2018; VANIN; MARQUEZ, 2020).

Porém, a preocupação com fabricação de produtos eco-sustentáveis, tem se fortalecido e se tornou uma preocupação, com o intuito de garantir a sustentabilidade. O que levou a busca pelo desenvolvimento de pesquisas tecnológicas de novas fontes renováveis de energia para serem inseridas na matriz energética nacional. Esta preocupação tem gerado debates sobre o aumento da segurança referente ao fornecimento de energia, em virtude dos efeitos causados ao ambiente e a sociedade, buscando a diminuição da dependência de combustíveis fósseis, e também despertar o interesse de todo o planeta por soluções sustentáveis por meio da geração de energia proveniente de fontes limpas e renováveis (ZAGO et al, 2010; LOPES; PAULILLO, 2018; VANIN; MARQUEZ, 2020).

As biomassas, originárias de matéria orgânica não fóssil, são uma alternativa de produção de energia renovável, podendo ser utilizada para a produção de calor, uso térmico industrial, geração de eletricidade e/ou pode ser modificada para conversão em energias sólidas como carvão vegetal e briquetes, líquidas como etanol e biodiesel e gasosas como o biogás.

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, portanto são facilmente extraídos. Em geral, essas biomassas são caracterizadas por

conterem em torno de 40-50% de celulose, 20-40% de hemicelulose e o restante de lignina (BAJWA et al., 2018; BARSKOV et al., 2019).

A transformação de biomassas em briquetes pode ser considerada uma tecnologia social simples que envolve um processo de compactação dos resíduos lignocelulósicos oriundos das agroindústrias, por meio da quebra natural das fibras, favorecendo o armazenamento de energia. O processo de briquetagem irá definir o 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 fácil armazenamento e transporte, o mais alto poder de combustão em função do maior poder calorífico e baixo teor de cinzas o que favorece o meio ambiente, portanto, gera menos poluição e mais energia (BURKOT; AHRENS, 2015; CAMPOS; DE GALIZA, 2016; BORGES et al., 2017).

O processo de briquetagem transforma a 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 altos poder calorífico e densidade, baixo teor de cinzas, boa resistência mecânica e uma certa estabilidade dimensional. (DESHANNAVAR et al., 2018; GANGIL & BHARGAV, 2019; NUNES et al., 2020).

Considerando as informações apresentadas e os novos desafios ambientais frente ao desenvolvimento da produção agroindustrial, considera-se o aproveitamento dos resíduos agroindustriais promissor para produção de energia renovável. Sendo, ainda, um benefício à sociedade e meio ambiente, pela adoção de mecanismos estratégicos sustentáveis para uso desses novos resíduos gerados. Promovendo desta forma novos paradigmas de que a questão ambiental não deve ser vista como um assunto apenas da alta gestão ou de setores específicos do meio ambiente.

Diante disso o presente trabalho tem como objetivo avaliar as características elementares dos resíduos do caroço de açaí e das cascas de cupuaçu e murumuru como alternativa de energia renovável para uso em caldeiras a partir da produção de briquetes.

METODOLOGIA

Objeto de estudo

A pesquisa foi desenvolvida em parceria com a Cooperativa de Fruticultores de Abaetetuba / COFRUTA, localizada no Município de Abaetetuba na Região Norte do estado do Pará. A cooperativa atualmente possui 87 cooperados, que atuam no processamento de diversas frutas da região (cupuaçu, açaí, taperebá, buriti, abacaxi, maracujá, goiaba, acerola, bacuri, entre outras) e oleaginosas para a extração de óleos (murumuru e andiroba).

Com a finalidade de atender o objetivo proposto, inicialmente foi realizada uma avaliação sobre os resíduos gerados pela cooperativa. Para o levantamento dos dados foram avaliados arquivos de dados de produção e realizado o acompanhamento de toda a produção até o local de descarte dos resíduos. Foram avaliados os três resíduos (biomassas) de maior volume na cooperativa: caroço de açaí (*Euterpe oleracea* Mart) e as cascas de cupuaçu (*Theobromagrandiflorum*) e murumuru (*Astrocaryum murumuru* Mart.).

Secagem e moagem das biomassas

Os caroços de açaí após coletados foram secos na sua integridade, enquanto, as cascas de cupuaçu, primeiramente, foram quebradas em pedaços menores para facilitar a secagem. A secagem destas biomassas foi realizada em secadores solares. As cascas de murumuru não passaram por processo de secagem devido apresentarem umidade inicial dentro do parâmetro desejado para a pesquisa (8 a 12% b.u). Este resíduo é armazenado pela cooperativa em reservatórios abertos e sacarias de rafia.

Os secadores solares possuem as dimensões de 4x2x2 metros (comprimento x altura x largura) com sistema de exaustão de ar e capacidade de armazenamento de energia. Construídos com material de metalon galvanizado, placa de acrílico e o fundo revestido por tela metálica para facilitar a circulação de ar entre o material (Figura 1).

Figura 1- Secador solar usado na secagem dos resíduos



Fotografia: Autores, 2022.

A temperatura e a umidade relativa no interior dos secadores foram registradas através do relógio termo-higrômetro digital, modelo Minipar MT-241.

A umidade das amostras, foram determinadas em analisador de umidade por infravermelho (modelo Marte científica ID-200), sendo a medida realizada até a obtenção da umidade final desejada.

Após a secagem todas as biomassas foram trituradas em triturador industrial (WEG W22 Plus) conforme (Figura 2A), visando facilitar o processo de prensagem na 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.

Figura 2- Trituração das biomassas após secagem: procedimento (A), Casca de cupuaçu triturado (B) e caroço de açaí inteiro (C)



Fonte: Autores, 2022.

ANÁLISES PRELIMINARES DAS BIOMASSAS

Para poder avaliar e quantificar o potencial energético e entender as propriedades das biomassas estudadas foram realizadas análises preliminares de densidade aparente (DA -g/cm³), teor de umidade (%U_{b.u}), teor de cinzas (%C), materiais voláteis (%MV), carbono fixo (%CF), poder calorífico (PC - MJ/Kg) utilizando a norma brasileira NBR 8112 para carvão vegetal aprovada pela ABNT (1986).

Para a análise de poder calorífico foi utilizada a metodologia conforme ABNT NBR 8628 e ABNT 8633, indicadas para o carvão vegetal, porém adaptada para qualquer combustível sólido. Esta análise é relevante para determinar a composição dos briquetes, ou seja, o percentual de combustão que cada biomassa poderá oferecer de energia. A análise foi realizada em bomba calorimétrica (modelo 6200 Isoperibol Calorimeter).

PRODUÇÃO E ANÁLISE DOS BRIQUETES

Após secagem e moagem dos três resíduos, caroço de açaí (A) e as cascas de cupuaçu (C) e murumuru (M), os briquetes foram produzidos com as granulometrias de 48 mesh, 60 mesh, 65 mesh e 80 mesh. Cada material foi colocado em recipientes cilíndricos com diâmetro de 54 mm e altura de 147 mm, no qual foram prensados em prensa hidráulica com carga constante de 15 toneladas por 10 minutos de prensagem. Posteriormente, foram pesados em balança semi-analítica e armazenados em temperatura ambiente por 7 dias. Os briquetes foram codificados de acordo com a letra inicial de cada biomassa seguido da numeração das peneiras de cada granulometria. A Figura 3 apresenta a triplicata dos briquetes de caroço de açaí (A) na granulometria de 60 mesh conforme a codificação (A60).

Figura 3 - Briquetes de caroço de açaí na granulometria de 60 mesh (A60)



Fonte: autores, 2022.

TESTE DE RESISTÊNCIA AO IMPACTO

O teste de resistência ao impacto foi realizado segundo Silva et al. (2019) e Okot, Bilsborrow & 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. Foram utilizadas 5 repetições para cada teste conforme a altura de lançamento. 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 4).

Para análise de dados foi aplicado uma análise de variancia de média com teste Turkey a nível de 5% significancia utilizando o programa R-Studio.

Figura 4- 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)

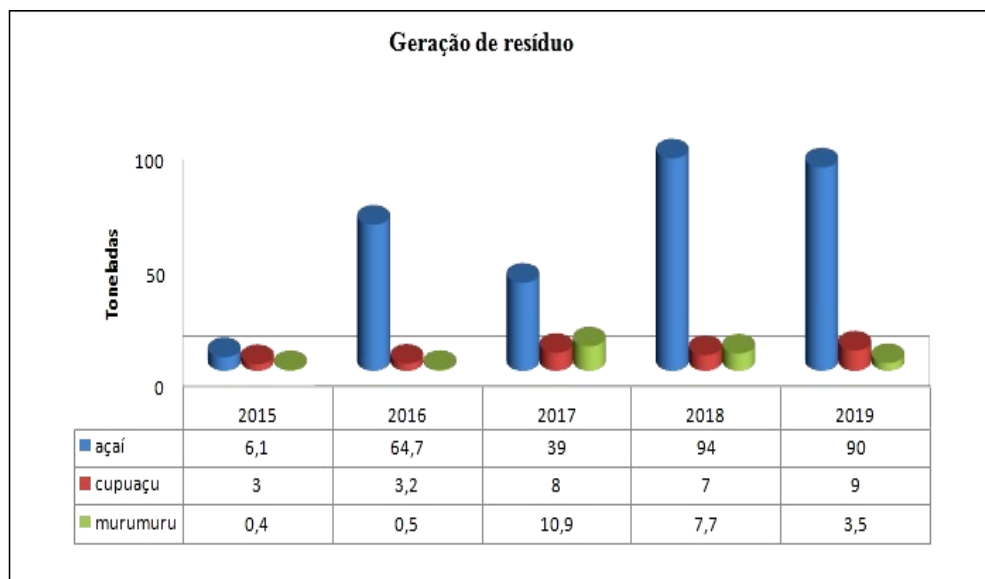


Fonte: autores, 2022.

COLETA DOS RESÍDUOS

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. Já a quantidade de casca de cupuaçu aumento em comparação com 2015, porém manteve-se quase que constante nos últimos 3 anos (Figura 5).

Figura 5. Produção de resíduos de caroço de açaí, cascas de cupuaçu e murumuru.



Fonte: autores, 2022.

Observa-se no gráfico um aumento na produção de cascas de murumuru nos primeiros 3 anos, com redução em 2018, uma vez que a safra é de janeiro a maio, porém a coleta e quebra da oleaginosa é partir de maio e vai até setembro devido as grandes águas do período da safra. Em 2019, os cooperados começaram a adquirir as amêndoas já separadas da casca o que diminuiu a geração resíduos, porém, com 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 estão avaliando a construção de uma máquina quebradora que atenda essa prática.

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, o material retirado das suas propriedades, o que a torna por um lado rentável aos cooperados, porém 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 de 2015 a 2019 (Tabela 1).

Tabela 1- 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

Fonte: autores, 2022.

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

Com base nos resultados obtidos através das atividades da cooperativa, observa-se a sua importância e participação no contexto do desenvolvimento econômico e social do município, bem como a sua interferência no meio ambiente decorrente. Desta forma ressalta-se a importância por alternativas sustentáveis para que as cooperativas que tem como intuito o bem comum e geral de seus associados possam fortalecer seu crescimento econômico e social atrelado um cenário de proteção e preservação do solo e de seus recursos naturais, que tanto produz para a sobrevivência de suas famílias.

SECAGEM SOLAR

As biomassas do cupuaçu e do caroço do açaí submetidos à secagem em secador solar, apresentaram umidade inicial de 40% e 30% (b.u), respetivamente. Após 5 dias, a biomassa de cupuaçu apresentava 11% e a de açaí 12% de umidade (b.u). Próximo do intervalo ideal (8% a 15%) para fabricação de briquetes (DA CRUZ et al., 2016; BERGE et al., 2017). As biomassas de murumuru não passaram por processo de secagem por já apresentarem 8% (b.u) de umidade inicial.

No interior dos secadores a temperatura média foi de 31,5° C e umidade relativa de 56 % para o caroço de açaí e 33,5°C com 66% para a casca de cupuaçu. Estas variações de temperatura e umidade ocorreram possivelmente devido o tamanho e composição das biomassas.

O período de safra do cupuaçu coincide com período chuvoso, inverno paraense, tornando o processo de secagem solar mais lento, porém, com o uso do exaustor no secador permitiu que a umidade relativa tivesse pouca variação durante a secagem.

ANÁLISES PRELIMINARES DAS BIOMASSAS

Os resultados da caracterização realizada na lenha utilizada na cooperativa para produção de energia nas caldeiras e dos resíduos do caroço de açaí e das cascas de cupuaçu e murumuru para definir estas biomassas como potencial uso na produção de briquetes encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 - 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/cm ³)	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

Fonte: autores, 2022.

Os teores de cinzas das três biomassas analisadas foram baixos e menores ainda do que o da lenha (Tabela 2), 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 o teor de material volátil e menor teor de cinzas, normalmente, maior será o poder calorífico. Pois, 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. 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) 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 com 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 poder de gerar energia. 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/cm³) é bem menor do que a literatura informa para briquete (1000 a 1300Kg/cm³) o que revela que as biomassas em estudo poderão formar briquetes mais compactados do que a lenha (SILVEIRA, 2008; BARABOSA, 2016; DA CRUZ, 2016.)

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.

O experimento de resistência ao impacto indicou que os briquetes de caroço de açaí (A) e casca de cupuaçu (C) não apresentaram efeito significativo em relação a granulometria e/ou altura de queda (Tabela 3). De um modo geral, foram obtidos excelentes resultados, com massa residual acima de 80%, indicando que estes briquetes poderão suportar quedas com alturas ainda maiores.

Os resultados encontrados são coerentes com pesquisas realizadas com briquetes produzidos com espigas de milho e casca de café, com umidade também na faixa de 8 e 12%, respectivamente (Brand et al. 2017; Okot, Bilsborrow & Phan, 2018).

Tabela 3- Percentual (%) de massa restante do teste de resistência ao impacto em relação a altura de lançamento da queda livre (cm) dos briquetes elaborados nas granulometrias de 48, 60, 65 e 80 mesh a partir da biomassa dos diferentes resíduos agroindustriais de caroço de açaí (A), casca de cupuaçu (C) e casca de murumuru (M)

Briquetes	Altura de 30 cm	Altura de 60 cm	Altura de 90cm	Altura de 120cm
A48	97,90 ^{bc}	96,62 ^b	81,79 ^c	75,41 ^e
A60	99,58 ^a	98,72 ^a	96,53 ^{ab}	94,89 ^b
A65	98,42 ^{abcs}	96,55 ^b	98,07 ^a	98,44 ^a
A80	97,65 ^c	97,93 ^{ab}	97,92 ^a	97,68 ^a
C48	99,01 ^{abc}	66,22 ^d	66,12 ^d	65,44 ^f
C60	99,32 ^{ab}	94,08 ^c	94,8 ^{ab}	85,4 ^c
C65	99,41 ^{ab}	93,55 ^c	92,61 ^b	85,14 ^c
C80	99,08 ^{abc}	99,6 ^a	82,48 ^c	80,1 ^d
M48	27,62 ^e	0 ^g	0 ^f	0 ^h
M60	68,99 ^d	55,75 ^f	0 ^f	0 ^h
M65	69,26 ^d	60,91 ^e	60,58 ^e	0 ^h
M80	99,62 ^a	99,48 ^a	98,40 ^a	60,63 ^g
p-Valor:	0,1186	0,0442	< 0.01	0.0003

a,b,c,d,f,g,h Médias, seguidas de letras minúsculas diferentes na linha diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância.

Fonte: autores, 2022.

De acordo com os dados obtidos na Tabela 3, os briquetes produzidos com casca de murumuru apresentaram menor desempenho quanto a resistência ao impacto, uma vez que somente na granulometria de 80 mesh resistiu a queda do teste alcançando resultados satisfatórios até a altura de 90 cm, comparado aos demais briquetes. Tal comportamento pode ser justificado por se tratar de um material muito lenhoso e por não conter aglutinante, os corpos com menor granulometria a alta pressão tendem a ficar mais densificados e consequentemente mais resistentes. Nos briquetes elaborados com caroço de açaí, observa-se que somente na granulometria de 48 mesh os resultados foram abaixo de 90% de rendimento para a altura de 120cm, ou seja, nas demais alturas apresentaram altura superior a 80%, tal comportamento pode ser observado também para os briquetes feitos com casca de cupuaçu. Portanto, observa-se que quanto menor a granulometria maior é o poder de densificação da biomassa. 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 biomassa, 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 com os encontrados por Lubwama e Yiga (2018), ao trabalhar com briquetes de casca de café não carbonizados a pressão de 10 toneladas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As biomassa do caroço do açaí e das cascas de cupuaçu e murumuru apresentaram características relevantes, principalmente materiais voláteis, cinzas e poder calorífico, indicando que podem ser utilizadas como fontes geradoras de energia sustentável. A partir dessas informações, observa-se a importância tanto social quanto ambiental da realização desta pesquisa, devido a redução dos impactos ambientais originados pelo uso de lenha bem como a diminuição de pragas e doenças provenientes do acúmulo desses resíduos provenientes do processamento agroindustrial.

Portanto, a busca por novas fontes de energia sustentável através da produção de briquetes, pode ser considerado uma medida que envolve o meio ambiente e a capacidade de transformação, bem como o desenvolvimento econômico e mudança nos aspectos culturais, levando em consideração a busca por inovações tecnológicas e práticas administrativas associado aos recursos humanos. E a produção de briquetes a partir destas biomassa é uma alternativa energética extremamente viável por ser uma tecnologia social que não requer processos e tratamentos complexos.

REFERÊNCIAS

Ensaio físico – Determinação da massa específica – Densidade a granel. Rio de Janeiro, 1981.

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.

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

BARBOSA, A. M. **Compósitos poliméricos com resíduo de açaí para mitigação de efeitos térmicos como estratégias eco-alternativas em habitações na Amazônia.** 2016. 92f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil)- Universidade Federal da Amazonia, Belém Pará, 2016.

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. DOI: [10.1016/j.rser.2018.07.040](https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.07.040).

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, 2, 2017. DOI: [10.22411/rede2016.1002.02](https://doi.org/10.22411/rede2016.1002.02).

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**, v. 142, 624-642, 2019. DOI: [10.1016/j.renene.2019.04.068](https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.04.068).

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**, v. 111, 116–123, 2017. DOI: [10.1016/j.renene.2017.03.084](https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.03.084).

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. DOI: [10.3895/rbta.v9n2.1732](https://doi.org/10.3895/rbta.v9n2.1732).

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, p. 56-69, 2016. DOI: [10.15202/19811896.2015V20N40P56](https://doi.org/10.15202/19811896.2015V20N40P56)

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

Amazônia, Belém- Pará, 2018.

DA CRUZ, B. 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 Energias Renováveis**, v.5, n.2, p.238-252, 2016. DOI: [10.5380/rber.v5i2.44269](https://doi.org/10.5380/rber.v5i2.44269).

DESHANNAVAR, U. B.; HEGDE, P. G.; DHALAYAT, Z.; PATIL, V.; GAVAS, S. Production and characterization of agro-based briquettes and estimation of calorific value by regression analysis: An energy application. **Materials Science for Energy Technologies**, v.1, n.2, 175–181, 2018. DOI: [10.1016/j.mset.2018.07.003](https://doi.org/10.1016/j.mset.2018.07.003).

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.

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. DOI: [10.1016/j.biombioe.2015.11.024](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.11.024).

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. DOI: [10.1016/j.renene.2020.11.087](https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.11.087).

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, M. E. N. M.; PAULILLO, L. C.; M. S. O aproveitamento da biomassa da casca do coco verde para produção de briquetes e geração de energia. **Revista Diálogos & Ciência (D&C)**, v. 1, n. 41 (18), p.51-76, 2018.

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. DOI: [10.1016/j.renene.2017.11.003](https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.11.003).

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, p. 61-72, 2018. DOI: [10.1016/j.biombioe.2018.02.015](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.02.015).

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).

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.

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

SIMON, M. A.; WOLFF, D. B. Gestão ambiental em cooperativa agrícola. **Disciplinarum Scientia**. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas, Santa Maria, v. 13, n. 1, p.p. 49-67, 2012.

VANIN, A. B.; MARQUEZ, G. **Aplicação do sistema de gestão ambiental na Minimização dos impactos ambientais gerados por uma Agroindústria abatedora de aves.** The Journal of Engineering and Exact Sciences – CEC, v. 06 n. 05, 2020. DOI: [10.18540/jcecvl6iss5pp0640-0646](https://doi.org/10.18540/jcecvl6iss5pp0640-0646).

VEIGA, J. E. da. **A face rural do desenvolvimento:** natureza, território e agricultura. Porto Alegre: Editora Universidade/UFRGS, 2000.