**POTENCIAL ENERGÉTICO DA BIOMASSA E DO CARVÃO VEGETAL PRODUZIDO A PARTIR DE SEMENTES DE PATAUÁ (***Oenocarpus bataua* Mart.**)**

Yasmim Guedes da Silva1, Antonio Francisco Oliveira dos Santos2; Letícia Alves Lima2; Rita de Cássia Rocha Pereira2; Luíza Neves Coelho2; Letícia da Silva Moreira3;Fernando Wallase Carvalho Andrade4

1 Graduanda de Engenharia Florestal. Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Biodiversidade e Florestas. E-mail do autor: yasmimguedesserao@gmail.com.

2 Graduandos de Engenharia Florestal. Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Biodiversidade e Florestas.

3 Doutoranda em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Biodiversidade e Florestas.

4 Doutor em Ciência Florestal. Universidade Federal do Oeste do Pará, Laboratório de Tecnologia da Madeira e Bioprodutos.

**RESUMO**

Atualmente, com o aumento da demanda por energia, fontes alternativas e sustentáveis que minimizem os impactos causado pelos usos de combustíveis fósseis tornam-se essenciais. Nesse contexto, a energia proveniente da biomassa, que é de origem renovável, é uma opção promissora para contribuir com a diversificação da matriz energética e reduzir a emissão de gases do efeito estufa (GEEs). O patauá é uma espécie de palmeira com ampla ocorrência na Amazônia que produz frutos oleaginosos comumente utilizados para consumo do vinho, produção de artesanato e afins. Diante deste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a qualidade da biomassa e do carvão vegetal obtidos do bagaço de patauá (*Oenocarpus bataua* Mart.), buscando explorar seu potencial para a geração de energia sustentável na região amazônica. Foram coletadas sementes de patauá, as quais foram submetidas à análise química imediata e poder calorífico superior (PCS) da biomassa e do carvão vegetal produzido com temperaturais finais de carbonização de 450°C e 550°C. Ao analisar os resultados, observou-se que a biomassa e o carvão vegetal e da biomassa de patauá apresentaram características promissoras para a geração de energia. Foram observados teores de carbono fixo superiores a 70% nos carvões carbonizados a 450°C e 550°C, indicando boa qualidade para uso energético. Além disso, os valores de PCS foram elevados, especialmente no carvão vegetal, reforçando seu potencial energético. Esses resultados posicionam a biomassa de sementes de patauá como uma alternativa viável e sustentável para a geração de energia na região amazônica

**Palavras-chave:** Poder Calorífico Superior. Resíduo agrícola. Sustentabilidade.

**Área de Interesse do Simpósio**: : Bioeconomia, Créditos de Carbono, Pagamento por Serviços Ambientais, REED+, Valoração Econômica dos Recursos Ambientais, Inovação e Empreendedorismo para Negócios Sustentáveis.

**1. INTRODUÇÃO**

 No período atual, intitulado Antropoceno, a demanda por energia tem crescido, bem como a busca por fontes alternativas de energia, que minimizem os impactos causados pelo uso de combustíveis fósseis ao longo dos séculos (Suliani, Klanovicz e Silva, 2023). Nesse contexto, a energia proveniente da biomassa, que é de origem renovável, é uma opção promissora para contribuir com a diversificação da matriz energética e reduzir a emissão de gases do efeito estufa (GEEs). Diante disso, diferentes tipos de biomassa, principalmente provenientes de resíduos agroindustriais e florestais têm sido avaliados quanto ao seu potencial energético (Virmond et al. 2012).

 O aproveitamento de subprodutos, como resíduos de frutos, cascas, sementes, bagaço, cavacos e afins, oferecem uma possibilidade de geração de energia limpa, contribuem para a redução de desperdícios e promovem o uso eficiente dos recursos naturais. O caroço de patauá (*Oenocarpus bataua* Mart.) destaca-se neste contexto, principalmente por se assemelhar ao caroço do açaí (Euterpe sp.) (Vieira et al. 2021). Porém, para identificar o potencial desta matéria orgânica para fins energéticos, é necessário conhecer a sua composição química e capacidade energética.

 O patauá é uma espécie de palmeira pertencente à família Arecaceae, com ampla ocorrência no bioma Amazônia, em floresta úmida de várzeas/galeria e de terra firme. A espécie na natureza pode produzir cerca de onze toneladas de frutos por hectare ao ano e este fruto apresenta característica oleaginosa e alimentícia, qualidades exploradas pelas populações tradicionais da Amazônia, o que permite a geração de renda para as comunidades através do manejo da palmeira (Vieira, 2021). O fruto é utilizado para a confecção de artesanatos através das sementes (Barbosa et al., 2018), para alimentação *in natura* e na transformação em ‘vinho’ semelhante ao do açaí (Germano et al., 2014; Vieira, 2021), bem como para comercialização.

 Diante da crescente demanda por energia e do potencial da biomassa como fonte sustentável, o presente estudo teve como objetivo avaliar a qualidade da biomassa e do carvão vegetal obtidos do bagaço de patauá (*Oenocarpus bataua* Mart.), buscando explorar seu potencial para a geração de energia sustentável na região amazônica.

**2. MATERIAL E MÉTODOS**

 Para as análises foram utilizadas sementes de patauá (*Oenocarpus bataua),* obtidas através de doação pela Brigada de Amigos Defensores da Ecologia e de Recursos Naturais da Amazônia (BADERNA), localizada na comunidade Cucurunã, Ramal dos Coelhos, município de Santarém-PA. As amostras foram condicionadas em ambiente controlado (umidade relativa do ar = 65%; e temperatura do ar = 20 °C) até a estabilização da massa. Posteriormente, o material foi submetido à secagem em estufa de circulação forçada a 103 ± 2 °C.

 Para a análise química imediata, as sementes *in natura*- foram trituradas e moídas utilizando moinho de facas. Em seguida, foi realizada a classificação granulométrica do material em peneiras de 40 e 60 *mesh*, sendo coletado para as análises o material retido em peneira de 60 mesh.

 Para a determinação das características do carvão vegetal e o balanço de massa da carbonização, o material foi submetido ao processo de carbonização em um forno do tipo mufla, utilizando um reator em aço inoxidável, com controle da temperatura final de forma programada. Foram testadas as temperaturas finais de carbonização de 450°C e 550°C.

 As análises químicas imediatas da semente do patauá *in natura* e após a carbonização foram realizadas de acordo com a norma D1762-84 (ASTM, 2013). A análise consiste em determinar os teores de carbono fixo (CF), materiais voláteis (MV) e cinzas (Cz).

 O teor de materiais voláteis foi determinado conforme a Equação 1. Para a determinação do teor de cinzas, as amostras de patauá foram submetidos a combustão completa em mufla a uma temperatura de 750° C por 6 horas. Ao final do processo foram transferidos para o dessecador e pesados para a determinação do teor de cinzas, calculado conforme a Equação 2. Após a análise imediata, a partir dos resultados de teor de materiais voláteis e cinzas, foi possível calcular o teor de carbono fixo por diferença, conforme a Equação 3.

1. $TMV(\%)=\frac{Mi-Mf}{(Mf)}\*100$
2. $Cz(\%)=\frac{Mi-Mf}{(Mf)}\*100$
3. $CF\left(\%\right)=100\%-(Cz\%+MV\%)$

Em que: TMV = Teor de materiais voláteis (%); Mi = Massa inicial do cadinho + amostra (g); Mf = Massa final do cadinho + amostra (g); Cz (%) = Teor de cinzas.

O poder calorífico superior (PCS) da semente do patauá, tanto da biomassa quanto do carvão vegetal, foi determinado de acordo com a norma NBR 8633 (ABNT, 1984) utilizando o método da bomba calorimétrica. Esse método consiste na queima de 0,3 g de amostra do material em um ambiente fechado, dentro da bomba calorimétrica, na presença de oxigênio. Durante o processo, é registrado o valor de poder calorífico gerado na combustão do material.

A partir dos dados obtidos de análise imediata e poder calorífico foi realizada a estatística descritiva através de planilha eletrônica do Programa Microsoft Excel 365. Para a análise imediata realizou-se teste estatístico de normalidade e homogeneidade das variâncias, de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Foi realizado teste de Kruskal-Wallis para dados não paramétricos ao nível de 5% de probabilidade de erro.

**3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Ao analisar os resultados para análise imediata, constatou-se que os valores encontrados para teores de carbono fixo, materiais voláteis e cinzas (tabela 1) para sementes de patauá *in natura* foram semelhantes aos encontrados por Mafra et al. (2024) ao estudar o potencial energético da espécie.

Tabela 1– Resultados encontrados para análise imediata da biomassa e carvão vegetal de sementes de patauá.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Material** | **TCF (%)** | **TMV (%)** | **TCz (%)** |
| Biomassa | 24,83 (0,62) a | 73,72 (0,66) a | 1.44 (0,05) a |
| Carvão vegetal à 450ºC | 74,09 (1,61) ab | 22,69 (1,60) ab | 3,20 (0,02) ab |
| Carvão vegetal à 550ºC | 83,06 (0,02) b | 13,25 (0,20) b | 3,67 (0,18) b |

TCF: teor de carbono fixo; TMV: teor de materiais voláteis; TCz: teor de cinzas; Medianas seguidas pela mesma letra nas colunas não apresentam diferença estatística pelo teste de Kruskal-Wallis. Fonte: Autores, 2024.

 Ao comparar os teores encontrados após a carbonização na faixa de 500ºC, Carmona et al. (2020) encontrou teores de 77,78% para carbono fixo e 0,16% para teor de cinzas para *Eucalyptus* spp. Protásio et al. (2013) relata que teores elevados de carbono fixo representam uma combustão mais lenta da biomassa no processo de conversão energética, o que coopera para uma maior resistência térmica do material vegetal, agregando qualidades vantajosas ao processo. Nesse sentido, o carvão vegetal produzido a partir de patauá, em ambas as temperaturas finais, foi possível alcançar teores de carbono fixo superiores a 70% (Tabela 1) o que indica potencial para fins energéticos.

No que tange aos materiais voláteis, Santos et al. (2008) considera que o teor de voláteis adequado para a siderurgia deve estar na faixa de 20% a 25%, o que permite uma maior proporcionalidade com o carbono fixo. Ainda assim, é preciso que haja algum percentual de materiais voláteis, visto que este colabora para o processo de carbonização influenciando positivamente a estabilidade da chama, a velocidade de combustão e na redução da reatividade do carvão vegetal. Dos resultados observados para o carvão de patauá (Tabela 1), aplicando-se a temperatura final de carbonização de 450ºC, o teor de voláteis se enquadra nos padrões indicados, enquanto o carvão a 550ºC apresenta menor teor de materiais voláteis, porém maior teor de carbono fixo.

Para a biomassa e carvão vegetal de patauá foram encontrados baixos teores de cinzas, com valores abaixo de 4% para todos os tratamentos analisados (Tabela 1). Segundo Barros (2006) para ser considerado um carvão de boa qualidade, este não deve deve ultrapassar 4% de teor de cinzas. O carvão vegetal de ótima qualidade deve conter baixo teor de cinzas, pois as cinzas correspondem aos minerais presentes no material, o que reduz o poder calorífico, a transferência de calor e a inflamabilidade, além de intensificar a corrosão de equipamentos (Bustaman-García et al., 2013).

Na Tabela 2 estão apresentados os valores obtidos para o poder calorífico superior (PCS) da biomassa e carvão vegetal das sementes de patauá. Observou-se que a aplicação de maior temperatura final de carbonização permitiu obter carvão vegetal com maior PCS.

Tabela 2 **–** Poder calorífico superior encontrado para a biomassa e carvão vegetal de patauá.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Material** | **Poder Calorífico (kcal/kg)** | **Variação Percentual\*** |
| Biomassa | 4.547,0 | - |
| Carvão vegetal à 450ºC | 7.219,0 | 58,7% |
| Carvão vegetal à 550ºC | 7.658,0 | 68,4% |

**\***Variação percentual do poder calorífico dos tratamentos em relação a biomassa (controle).

O PCS mede a combustão a um volume constante, então, nesse processo a água é condensada e o calor latente do vapor de água não é perdido (Protásio et al., 2011). Assim, quanto mais alto é o poder calorífico, maior é a energia contida nele (Müzel et al., 2014). O teor de carbono fixo está diretamente relacionado com o poder calorífico, ou seja, quanto maior o teor de carbono fixo, maior o poder calorífico. Isto ocorre pois o material carbonizado tem maior proporção de carbono fixo do que materiais naturais (Thomaz et al., 2017).

De acordo com Soares et al. (2015) o PCS do carvão vegetal de madeiras encontra-se próximo de 7.000 kcal/kg. No presente estudo, os valores encontrados para PCS do carvão vegetal de patauá tanto a 450°C quanto a 550°C são mais elevados que a média do PCS da madeira. Além disso, Silva (2022) determinou o PCS do carvão vegetal do caroço, do caroço torrificado e *in natura* do açaí (*Euterpe* sp.)*,* sendo: 7396,8 kcal/kg, 4714,1 kcal/kg e 4558,4 kcal/kg, respectivamente. Estes valores também se aproximam aos encontrados neste estudo. Assim, evidencia-se o potencial dos resíduos do patauá para a produção de energia.

**4. CONCLUSÃO**

 A biomassa e o carvão vegetal do caroço de patauá apresentaram características promissoras para a geração de energia. Observou-se teores de carbono fixo superiores a 70% nos carvões carbonizados a 450°C e 550°C, indicando boa qualidade para uso energético. Além disso, os valores de poder calorífico superior (PCS) foram elevados, especialmente no material carbonizado, reforçando seu potencial energético.

 Esses resultados posicionam a biomassa de sementes de patauá como uma alternativa viável e sustentável para a geração de energia na região amazônica, contribuindo para o aproveitamento de recursos locais e promovendo o desenvolvimento de fontes de energia renováveis.

**REFERÊNCIAS**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633: carvão vegetal: determinação do poder calorífico.** Rio de Janeiro, 1984, 13 p.

ASTM Standard D1762 – 84. **Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal**. Philadelphia, USA: American Society for Testing and Materials, 2013.

BARBOSA, Nelsiane M. et al. Contribuição da flora nativa no artesanato produzido por índios urbanos na cidade de Altamira. **Biota Amazônia**, v. 8, p. 53, 2018.

BARROS, Sâmia V. S. **Avaliação da biomassa de espécies exóticas e nativas como fonte alternativa para geração de energia**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2006.

BUSTAMANTE-GARCÍA, V. et al. Evaluation of a charcoal production process from forest residues of *Quercus sideroxyla* Humb., & Bonpl. in a Brazilian beehive kiln. Industrial **Crops and Products**, v. 42, p. 169-174, 2013.

CARMONA, I. N. et al. Caracterização energética do carvão vegetal de Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis plantados no Oeste do Pará. **Revista Agroecossistemas**, v. 11, p. 57, 2020.

GERMANO, C. M. et al. Comunidades ribeirinhas e palmeiras no município de Abaetetuba, Pará, Brasil. **Scientia Plena**, v. 10, n. 11, 2014.

MAFRA, E. R. M. L. et al. Comparative analysis of seed biomass from Amazonian fruits for activated carbon production. **Biomass conversion and biorefinery**, v. 14, p. 11279-11293, 2024.

MÜZEL, S. D. et al. Poder Calorífico da Madeira de Eucalyptus grandis e da Hevea brasiliensis. **Revista Brasileira de Engenharia de Biossistemas**, v. 8, n. 2, p. 166-172, 2014.

PROTÁSIO, T. P. et al. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 66, p.113-122, abr. 2011.

PROTÁSIO, T. P. et al. Thermal decomposition of torrefied and carbonized briquettes of residues from coffee grain processing. **Ciencia e agrotecnologia**, v. 37, p. 221-228, 2013.

SANTOS, M. A. S. Parâmetros de qualidade do carvão vegetal para uso em alto-forno. In: Fórum nacional sobre carvão vegetal, 1, 2008, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UFMG, 2008.

SILVA, T. F. **Caroço de açaí: uma alternativa bioenergética.** 2021. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

SOARES, V. C. et al. Análise das propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto em três idades. **Cerne**, Lavras, v. 21, n. 2, p. 191 – 197, 2015.

SULIANI, C. R. D. P; KLANOVICZ, J.; SILVA, C. M. Antropoceno: história, historiografia e perspectivas. CADERNOS DO CEOM, História Ambiental, v. 36, n. 59, 2023.

VIRMOND, E. et al. Characterisation of agroindustrial solid residues as biofuels and potential application in thermochemical processes. **Waste Management**, v. 32, n. 10, 2012.

VIEIRA, P. L. A. **Caracterização de resíduos da agroindústria amazônica:** *Astrocaryum murumuru* **e** *Oenocarpus bataua***.** 2021. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química Industrial) – Faculdade de Química, Instituto de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal do Pará, Belém, 2021. Disponível em: <https://bdm.ufpa.br/jspui/handle/prefix/6254>.

THOMAZ, D. T. et al. **Poder calorífico da madeira e do carvão vegetal: lignina e carbono fixo como determinantes**. EMBRAPA – VI Evento de Iniciação Científica da Embrapa Florestas, 2007.