Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação — REASE

doi.org/10.51891/rease.v12i11.32392

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O CARVÃO VEGETAL DE MADEIRA E O CARVÃO VEGETAL DE CAROÇO DE AÇAÍ (EUTERPE OLERACEA MART.): ANÁLISE DO PODER CALORÍFICO E DO TEOR DE UMIDADE

COMPARATIVE STUDY BETWEEN WOOD CHARCOAL AND AÇAÍ SEED CHARCOAL (EUTERPE OLERACEA MART.): ANALYSIS OF CALORIFIC VALUE AND MOISTURE CONTENT

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE EL CARBÓN VEGETAL DE MADERA Y EL CARBÓN VEGETAL DE SEMILLA DE AÇAÍ (EUTERPE OLERACEA MART.): ANÁLISIS DEL PODER CALORÍFICO Y DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

Vinicius Gustavo de Jesus Ferreira Lemes[1]
Moisés Nicolas Alho de Carvalho[2]
Igor da Silva Duarte[3]
Sérgio Augusto Tanouri Pastuch[4]
Denise de Nazaré Fagundes de Jesus[5]
Marco Valério de Albuquerque Vinagre[6]
Luana Santana dos Santos[7]

RESUMO: O artigo em questão possui como objetivo principal realizar um estudo comparativo entre o carvão vegetal oriundo da carbonização da madeira com o carvão vegetal proveniente da carbonização do caroço de açaí de acordo com a análise das referências bibliográficas. Paralelamente de maneira experimental, foi determinado o poder calorífico do caroço de açaí com a utilização do método calorimetria de combustão em bomba calorimétrica adiabática e a conversão dos resultados por ASTM D3180. Foi também determinado de maneira experimental o teor de umidade. A determinação do teor de umidade foi realizada com base na metodologia apresentada no livro Métodos físico-químicos para análise de alimentos, do Instituto Adolfo Lutz (2008). Na abordagem do caroço de açaí foram realizados dois teste, o primeiro com apenas o caroço moído e o segundo com o caroço moído misturado com resíduo oleoso de óleo de navio com baixo ponto de fluidez, conhecido como óleo do tipo BPF. Tais resíduos agroindustriais são abundantes na região amazônica e a pesquisa demonstra o potencial energético do seu uso. Também evidencia a questão ambiental, onde o resíduo pode contribuir de forma significativa no combate ao desmatamento, tornando-se uma alternativa ao uso de madeira comum.

Palavras-chave: Carvão vegetal. Caroço de açaí. Poder calorífico.

[1] Gerente operacional da AP Marine. Bacharel em Sistemas de Informação, mestre em Tecnologia e doutorando em Tecnologia pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).
[2] Discente concluinte do curso de Engenharia Mecânica da Universidade da Amazônia (UNAMA), em Belém (PA).
[3] Discente concluinte do curso de Engenharia Mecânica da Universidade da Amazônia (UNAMA), em Belém (PA).
[4] Analista de qualidade na AP Marine. Engenheiro químico pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), em Curitiba (PR).
[5] Analista de qualidade na AP Marine. Formação na área de Engenharia de Produção na Faculdade Estácio de Belém (Estácio Belém), em Belém (PA).
[6] Docente da Universidade da Amazônia (UNAMA). Graduado em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) e doutor em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Orientador.
[7] Docente da Universidade da Amazônia (UNAMA). Graduada e mestra em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Coorientadora.

ABSTRACT: The primary objective of this article is to conduct a comparative study based on a review of bibliographic references between charcoal derived from the carbonization of wood and charcoal produced from the carbonization of açaí pits. Experimentally, the calorific value of the açaí pits was determined using combustion calorimetry in an adiabatic bomb calorimeter, with results converted according to the ASTM D3180 standard. The moisture content was also determined experimentally, following the methodology presented in the book Physicochemical Methods for Food Analysis by the Adolfo Lutz Institute (2008). Two tests were performed on the açaí pits: the first using only the ground pits, and the second using the ground pits mixed with a low-pour-point oily residue a type of fuel oil known as "BPF" (a heavy fuel oil residue). Such agro-industrial residues are abundant in the Amazon region, and this research demonstrates their energy potential. It also highlights the environmental dimension, as these residues could contribute significantly to combating deforestation by serving as an alternative to conventional wood.

Keywords: Charcoal. Açaí seed. Calorific value.

RESUMEN: El artículo en cuestión tiene como objetivo principal realizar un estudio comparativo entre el carbón vegetal obtenido de la carbonización de la madera y el carbón vegetal proveniente de la carbonización del hueso de açaí, basándose en el análisis de referencias bibliográficas. Paralelamente, de forma experimental, se determinó el poder calorífico del hueso de açaí mediante el método de calorimetría de combustión en una bomba calorimétrica adiabática, convirtiendo los resultados según la norma ASTM D3180. Asimismo, se determinó experimentalmente el contenido de humedad, siguiendo la metodología presentada en el libro Métodos físico-químicos para el análisis de alimentos, del Instituto Adolfo Lutz (2008). En el estudio del hueso de açaí se llevaron a cabo dos pruebas: la primera utilizando únicamente el hueso molido, y la segunda empleando el hueso molido mezclado con un residuo oleoso un tipo de combustible naval de bajo punto de fluidez, conocido como aceite tipo BPF. Estos residuos agroindustriales son abundantes en la región amazónica, y la investigación demuestra el potencial energético de su aprovechamiento. También se pone de relieve el aspecto ambiental, ya que estos residuos pueden contribuir significativamente a combatir la deforestación, constituyendo una alternativa al uso de la madera convencional.

Palabras clave: Carbón vegetal. Semilla de açaí. Poder calorífico.

1 INTRODUÇÃO

A produção de carvão vegetal a partir da madeira ocorre por meio da pirólise, processo de aquecimento do material em temperaturas entre 200 °C e 1.000 °C, em ambiente com baixo teor de oxigênio (CENBIO, 2008; LEPAGE et al., 1986). O Brasil figura entre os maiores produtores mundiais desse insumo, sendo que cerca de 85% da produção é destinada ao setor industrial (FROEHLICH; MOURA, 2014). Estima-se, contudo, que o desmatamento ilegal responda por parcela expressiva da origem da matéria-prima utilizada nesse processo, o que reforça a dependência de um recurso associado a impactos ambientais e sociais significativos (REPÓRTER BRASIL, 2006).

Nesse contexto, o uso de biomassas residuais tem sido apontado como alternativa sustentável para reduzir a pressão sobre os recursos florestais. O caroço de açaí (Euterpe oleracea Mart.), resíduo gerado em larga escala no despolpamento do fruto, representa entre 85% e 95% do peso total do açaí (ALMEIDA et al., 2017) e destaca-se por seu elevado poder calorífico,

tornando-se um subproduto promissor para a produção de carvão vegetal, briquetes energéticos e carvão ativado (SOUSA et al., 2016; CORDEIRO et al., 2020).

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo realizar uma comparação entre o carvão vegetal produzido a partir da carbonização da madeira e o carvão obtido a partir da carbonização do caroço de açaí, avaliando especificamente o teor de umidade e o Poder Calorífico Superior (PCS) das amostras analisadas, de modo a contribuir para a discussão sobre o aproveitamento energético de resíduos agroindustriais na região amazônica. Os dados sobre carvão de madeira advém da literatura pesquisada.

2 MÉTODOS

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo exploratório de abordagem quantitativa, associando levantamento bibliográfico a experimentos laboratoriais. A coleta de dados foi realizada de forma presencial nos meses de abril e maio de 2026, no laboratório de controle de qualidade da empresa AP Marine, com etapas conduzidas em polos distintos localizados em Belém (PA) e no Maranhão (MA).

A partir de uma amostra, teste unitário, constituída de mistura de 70% de caroço de açaí triturado e 30% de óleo BPF, foi determinado o PCS (Poder calorífico Superior) pela utilização do método calorimetria de combustão em bomba calorimétrica adiabática e a conversão dos resultados por ASTM D3180. Foi utilizada a equação apresentada no manual *Operating instructions for the 1241 oxygen bomb calorimeter*, da Parr Instrument Company (1988), conforme descrito a seguir:

- Foi pesada amostras de 0,606 g da amostra em balança analítica;
- A amostra foi submetida à combustão em calorímetro adiabático da marca Parr;
- A temperatura inicial indicada antes da ignição foi 31,32°C;
- Após a estabilização da indicação do termômetro após a ignição, a temperatura indica foi 32,54°C;
- Foi feita a remoção do material residual da bomba calorimétrica com água destilada e feita a titulação com solução 0,07N, utilizando alaranjado de metila como indicador de viragem. Foram consumidos 8 ml da solução de titulação até a viragem;
- Foram consumidos na ignição na bomba calorimétrica 6 cm de fio níquel-cromo.

O teor de enxofre não foi determinado experimentalmente, sendo adotado o valor estimado de 0,5% para a correção do cálculo do PCS.

Fórmula para Cálculo do PCS:

PCS = ((tf – ta) * W - C1 - (m * 13,7 * C2) – (2,3 *C3))/m

Onde:

PCS = poder calorífico superior em kcal/kg;

tf = Temperatura final máxima em °C;

ta = Temperatura no momento da ignição em °C;

W = Energia equivalente do calorímetro e cal/°C (2.418,95 cal/°C, valor de calibração);

C1 = Volume de solução padrão alcalina utilizada na titulação da solução ácida em mililitros;

C2 = Porcentagem de enxofre na amostra (estimada em 0,5%);

C3 = Comprimento de fio fusível consumido na ignição em centímetros;

m = Massa da amostra em gramas.

A partir da fórmula acima foi calculado o valor do poder calorífico do caroço de açaí puro e do caroço de açaí misturado com BPF.

Foram conduzidos ensaios com 5 amostras para determinação do teor de umidade, com base em uma adaptação da metodologia apresentada no manual *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*, do Instituto Adolfo Lutz (2008).

Primeiro, foi realizada a pesagem das amostras em balança analítica de precisão, conforme os passos a seguir:

- Foi pesados 5 cadinhos e após a pesagem foi realizada a tara;
- Após a pesagem adiciona aproximadamente 100 gramas de caroço de açaí nos cadinhos (adaptado para 100 g) ;
- Após as pesagens foi direcionado ao forno mufla a uma temperatura de 105 °C e deixado por 3 horas;
- Repousar no dessecador para fazer a pesagem até estabilização do peso. Foi realizadas repetições até a estabilização do valor da pesagem.

Fórmula para determinação da umidade:

U (%) = ((mi - mf) / mi) x 100;

Onde:

mi = massa inicial em gramas;

mf = massa final em gramas;

U (%) = Umidade em percentual;

Os principais equipamentos utilizados nos ensaios laboratoriais são apresentados nas Figuras 3 a 6: o triturador, empregado na redução granulométrica do caroço de açaí; a balança

analítica e a balança digital, utilizadas nas pesagens de precisão e de rotina das amostras; e o forno mufla, responsável pelo processo de secagem.

Figura 1 – Triturador utilizado na redução granulométrica do caroço de açaí



Figura 2 – Balança analítica utilizada na pesagem de precisão das amostras



Figura 3 – Balança digital utilizada na pesagem do material antes do processo de secagem



Figura 4 – Forno mufla utilizado no processo de secagem



Figura 5 – Bomba calorimétrica



3 RESULTADOS

Os ensaios realizados com as amostras de caroço de açaí indicaram um teor médio de umidade de 11,85 ± 2,35%. O carvão obtido a partir do caroço de açaí triturado misturado com óleo do tipo BPF (baixo ponto de fluidez) apresentou poder calorífico Superior (PCS) de 4.827 kcal/kg, enquanto o carvão obtido a partir do caroço de açaí puro apresentou PCS de 3.761 kcal/kg (Tabela 2).

Tabela 1 – Teor de umidade, média e desvio padrão

Amostra	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Perda de massa (g)	Umidade (%)
1	101,21	89,90	11,31	11,17
2	101,38	89,57	11,81	11,65
3	100,09	88,92	11,17	11,16
4	104,38	87,89	16,49	15,80
5	100,46	90,93	9,53	9,49
Média ± DP (n = 5)	101,50 ± 1,69	89,44 ± 1,13	12,06 ± 2,62	11,85 ± 2,35

Fonte: Dados da pesquisa (autores, 2026).

Abaixo, encontra-se dos resultados do poder calorífico:

Tabela 2 – Poder Calorífico Superior (PCS) das amostras de caroço de açaí. Belém-PA, 2026

Amostra	PCS (kcal/kg)
Caroço de açaí triturado com BPF	4,827
Caroço de açaí somente	3,761

Fonte: Dados da pesquisa (autores, 2026).

A diferença de PCS entre as duas condições avaliadas foi de aproximadamente 1.066 kcal/kg, o que representa um incremento de cerca de 28,3% no poder calorífico obtido a partir do caroço de açaí triturado misturado com óleo do tipo BPF reciclado. Esse resultado sugere que a mistura pode ter contribuído para um aumento do poder calorífico e, consequentemente, para um maior aproveitamento energético da biomassa. Ainda assim, mesmo o valor mais baixo, referente ao caroço de açaí somente (3.761 kcal/kg), situa-se em um patamar energético relevante, o que reforça o potencial desse resíduo como matéria-prima alternativa para a produção de carvão vegetal, briquetes e outros produtos energéticos. Registros fotográficos de duas etapas de amostra são apresentados nas Figuras 6 e 7, permitindo a visualização do material triturado e misturado com óleo do tipo BPF e o somente do caroço de açaí armazenado em sacos plásticos para não absorver umidade após desidratação.

Figura 6 – Caroço de açaí triturado com BPF



Figura 7 – Caroço de açaí somente (sem BPF)



4 DISCUSSÃO

Os valores consultados na literatura para o carvão vegetal é em torno de 5.650 kcal/kg (FONSÊCA, 2011) e 7.968 kcal/kg (FRANÇA, 2015), passando por valores intermediários reportados por ROSA et al. (2012) e BRAND . A variação pode ser oriunda da origem da matéria prima, bem como o teor de umidade e a origem do material analisado. Evidencia uma necessidade de padronização.

No artigo em questão o teor de umidade determinado é 11,85 ± 2,35 %. O poder calorífico do caroço puro foi de 3,761 kcal/kg e a mistura com 30% de óleo do tipo BPF, apresentou o poder calorífico igual a 4,827 kcal/kg, aumento de 28,3%. Um adequado manejo da amostra, limpeza dos grãos podem interferir de maneira significativa o valor da umidade, visto que a região amazônica possui valores elevados de umidade relativa do ar. A amostra submetida ao PCS mostrou um aumento de aproximadamente 28% em relação ao caroço de açaí puro. Portanto, a mistura de BPF aumenta o poder calorífico da mistura.

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos reforçam um relevante potencial para o uso industrial dessa biomassa de resíduo agroindustrial. A região amazônica é uma grande produtora desse tipo de resíduo e a correta utilização do mesmo pode se tornar uma alternativa viável com relação direta ao aproveitamento do mesmo. Tal atividade pode contribuir para a diminuição do desmatamento, visto que pode substituir a madeira nativa.

Também se devem realizar mais ensaios em laboratório para comparar outras biomassas. As variações energéticas e de umidade de cada uma possuem grandes variações. Vale ressaltar que o Brasil, principalmente a região amazônica, é um grande produtor de resíduos de biomassa com capacidade para aproveitamento energético e inúmeros usos na geração de energia.

Nos trabalhos futuros, será possível determinar como o uso de biomassa participa do balanço energético em comparação aos combustíveis fósseis e sua contribuição ambiental para as novas gerações.

AGRADECIMENTOS E FINANCIAMENTO

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E. S. B. de et al. Caracterização física e química do caroço de açaí como resíduo lignocelulósico. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, v. 19, n. 1, p. 65–71, 2017.

BRAND, M. A.; RODRIGUES, A. A.; OLIVEIRA, A. de; MACHADO, M. S.; ZEN, L. R. Qualidade do carvão vegetal para o consumo doméstico comercializado na região serrana sul de Santa Catarina. Revista Árvore, Viçosa, v. 39, n. 6, p. 1165–1173, 2015.

CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA (CENBIO). Carvão vegetal: aspectos técnicos, sociais, ambientais e econômicos. São Paulo: IEE/USP, dez. 2008. Nota Técnica X.

CORDEIRO, C. L. O. et al. Aproveitamento do caroço de açaí: perspectivas para a produção de biojoias, carvão ativado e recuperação de água contaminada. Revista de Tecnologias Sustentáveis, v. 12, n. 3, p. 45–53, 2020.

FONSÊCA, C. M. B. Estudo comparativo do potencial energético do juazeiro (Ziziphus joazeiro Martius) e da algarobeira (Prosopis juliflora (Sw.) DC.) na produção de carvão no semiárido paraibano. 2011. 60 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2011.

FRANÇA, R. F. Estrutura anatômica da madeira e do carvão de espécies da caatinga. 2015. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

FROEHLICH, P. L.; MOURA, A. B. D. Carvão vegetal: propriedades físico-químicas e principais aplicações. Tecnologia e Tendências, v. 9, n. 1, p. 1–13, jan./jun. 2014.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4. ed., 1. ed. digital. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

LEPAGE, E. S. et al. Manual de preservação de madeiras. São Paulo: IPT, 1986. v. 1. 342 p.

PARR INSTRUMENT COMPANY. Operating instructions for the 1241 oxygen bomb calorimeter. Moline, IL: Parr Instrument Company, 1988. Manual n. 203M.

REPÓRTER BRASIL. Produção ilegal de carvão vegetal gera desmatamento e escravidão na Amazônia. São Paulo, 27 jun. 2006.

ROSA, R. A.; ARANTES, M. D. C.; PAES, J. B.; ANDRADE, W. S. de P.; MOULIN, J. C. Qualidade do carvão vegetal para o consumo doméstico. Journal of Biotechnology and Biodiversity, v. 3, n. 2, p. 41–48, 2012.

SOUSA, R. S. et al. Potencial energético do caroço de açaí para uso em caldeiras. Revista Energia e Meio Ambiente, v. 13, n. 2, p. 55–62, 2016.