

Caracterização energética do carvão vegetal da *Conocarpus erectus* L. na costa amazônica brasileira.

Beatriz do Carmo Corrêa Lima¹; Rick Vasconcelos Gama²; Mayk Silva da Rosa³; Madson Lucas Galvão de Brito³; Marcus Emanuel Barroncas Fernandes³; Iêdo Souza Santos⁴

¹ Universidade do Estado do Pará (UEPA), Campus de Marabá/ PA; ² Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Recursos Naturais e Sustentabilidade na Amazônia (PPGTEC), Universidade do Estado do Pará (UEPA); ³ Laboratório de Ecologia de Manguezal, Instituto de Estudos Costeiros (LAMA), Universidade Federal do Pará (UFPA), Campus de Bragança/PA; ⁴ Departamento de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade do Estado do Pará (UEPA) - be4trizlima1507@gmail.com

Resumo: As comunidades tradicionais sempre utilizaram os manguezais como recurso de madeira e produção de carvão vegetal para cocção de alimentos, construção de casas, cabanas e cercas, além de ser fonte de alimento e renda para populações ribeirinhas. Desta forma, conhecer as propriedades das espécies vegetais aproveitadas pelas comunidades costeiras amazônicas se faz importante. Neste sentido, a caracterização energética surge com a finalidade de indicar se a espécie *Conocarpus erectus* é adequada para uso residencial como carvão vegetal. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi realizar a caracterização energética do carvão vegetal da espécie *C. erectus* e o que se observou com a realização deste trabalho foi que as propriedades energéticas de poder calorífico e densidade energética apresentaram resultados adequados, segundo a literatura para uso residencial.

Palavras-chave: Manguezal, carvão vegetal de uso residencial, Energia da biomassa.

Energy characterization of charcoal from *Conocarpus erectus* L. on the Brazilian Amazon coast.

Abstract: Traditional communities have always used mangroves as a resource for wood and charcoal production for cooking food, building houses, huts and fences, in addition to being a source of food and income for riverside populations. Thus, knowing the properties of plant species used by Amazonian coastal communities is important. In this sense, the energetic characterization arises with the purpose of indicating whether the species *Conocarpus erectus* is suitable for residential use as charcoal. Thus, the objective of this work was to carry out the energetic characterization of charcoal of the species *C. erectus* and what was observed with the realization of this work was that the energetic properties of calorific value and energy density presented adequate results, according to the literature for residential use.

Keywords: Mangrove, charcoal for residential use, Biomass energy.

1. INTRODUÇÃO

O manguezal é reconhecido como um ecossistema altamente complexo na região costeira, destacando-se por sua ampla gama de funções, que incluem a proteção das margens marítimas, a filtragem e retenção de sedimentos transportados pelos rios, além de ser um importante suporte para a biodiversidade, abrigando diversas espécies da fauna e flora adaptadas às variadas condições topográficas e geomorfológicas. Além de sua importância ecológica, esses ecossistemas representam uma fonte econômica vital para as comunidades locais, que extraem recursos naturais como crustáceos e madeira (OLIVEIRA, *et al.*, 2016 e BARTZ, *et al.*, 2015).

Dentro desse contexto, destaca-se a espécie *Conocarpus erectus* L., popularmente conhecida como mangue-de-botão. Esta espécie, adaptada a ambientes salobros, alcalinos e úmidos, possui características morfológicas distintas (GILMAN & WATSON, 1993). *Conocarpus erectus* destaca-se por sua resistência e é amplamente utilizada para atividades recreativas, paisagismo, arborização de rodovias e, historicamente, na construção naval e produção de lenha de alta qualidade (SOUZA, 2020; GILMAN e WATSON, 1993). Uma aplicação significativa da *C. erectus* é a produção de carvão vegetal, um importante subproduto derivado de seu lenho.

Conhecer as espécies vegetais aproveitadas pelas comunidades costeiras amazônicas se faz importante, principalmente, pelas reservas extrativistas marinhas (RESEX Mar) criadas ao longo da costa do estado do Pará objetivando preservar os recursos naturais dessas regiões (CARNEIRO *et al.*, 2010 e PROST *et al.*, 2007). As comunidades tradicionais sempre utilizaram os manguezais como recurso de madeira para cocção de alimentos, construção de casas, cabanas e cercas, além de ser fonte de alimento e renda para populações ribeirinhas (RABELO *et al.*, 2018 e FERNANDES *et al.*, 2018).

A caracterização físico-química e energética do carvão vegetal é fundamental para conhecer sua qualidade. Outras propriedades, como densidade, umidade e poder calorífico, desempenham papéis cruciais na determinação da qualidade e utilidade do carvão vegetal produzido (ROWELL *et al.*, 2005; LIMA *et al.*, 2007; BRITO, 1990). Diante desse cenário, o objetivo do trabalho foi realizar a caracterização energética do carvão vegetal da *C. erectus*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Seleção do material

O material que foi utilizado no estudo é proveniente das florestas de mangue da península de Ajuruteua, município de Bragança – Pará, Brasil, localizada nas coordenadas: latitude 01° 03' 13" sul e longitude 46° 45' 56" oeste. Foram selecionadas cinco árvores de *C. erectus*, que foram suprimidas de acordo com a Licença MMA/ICMBIO/SISBIO nº 77770-1, e levadas ao Laboratório de Ecologia de Manguezal (LAMA), da Universidade Federal do Pará, no Campus de Bragança, para preparação dos corpos de prova.

2.2 Processo de carbonização

A carbonização das amostras foi feita a partir de um forno elétrico do tipo mufla, onde as amostras foram colocadas dentro de um compartimento metálico e acoplado no interior do forno, conectado também a um sistema de resfriamento e condensação para recuperação dos gases condensáveis. Para o processo de carbonização foi utilizado uma taxa de aquecimento igual a 1,67 °C min⁻¹ e temperatura final de 450 °C, com 30 min de tempo de residência na temperatura final. O tempo total de carbonização foi de aproximadamente 4 (quatro) horas.

2.3 Determinação do poder calorífico

Foi utilizado o carvão vegetal com as propriedades físicas já estabelecidas, tendo o valor médio de 0,54 g/cm³ para densidade e 5,2 % para o teor de umidade. Utilizou-se aproximadamente 0,3 g de amostra de carvão vegetal moído e seco para a determinação do poder calorífico superior de cada árvore. As amostras foram analisadas em bomba calorimétrica modelo IKA C1, sendo o ensaio padronizado com a norma ASTM D5865/D5865M (ASTM, 2019)

O poder calorífico inferior (PCI) foi calculado com base no poder calorífico superior (PCS), considerando um teor de hidrogênio de 6% segundo Faria (2016), com auxílio da Equação 1:

$$PCI = PCS - 600 * [(9 * h)/100] \quad \text{EQ.01}$$

Onde: PCI = Poder calorífico inferior (Kcal/kg⁻¹); PCS = Poder calorífico superior (Kcal/kg⁻¹); H = teor de hidrogênio (%).

O poder calorífico útil (PCU) foi determinado com base no poder calorífico inferior, conforme a Equação 2:

$$PCU = PCI * (1 - U) - 600 * U \quad \text{EQ.02}$$

Onde: PCU= Poder calorífico útil (Kcal/kg⁻¹); PCI= Poder calorífico inferior (Kcal/kg⁻¹); U= Teor de umidade em base úmida (%).

A densidade energética foi calculada conforme a Equação 3 descrita por Silva (2016):

$$DE = PCU * DB \quad \text{EQ.03}$$

Onde: DE = Densidade energética (Kcal/m³); PCU = Poder calorífico útil (Kcal/kg⁻¹); DB = Densidade básica (kg/m³).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As espécies que detêm o maior poder calorífico são consideradas as mais desejadas para a finalidade energética, pois essa propriedade está relacionada com a liberação do calor total no momento da carbonização de uma unidade de massa ou de volume de um combustível (kcal/kg ou kj/kg; kcal/m³). Isso significa que o carvão vegetal teria um maior resultado de rendimento energético (ROSA, 2012).

O poder calorífico superior do carvão apresentado pela espécie *C. erectus* foi de 7281,10 (kcal/kg), como podemos observar na **Tabela 1**, considerado um valor significativo, podendo ser explicado pela densidade básica que a madeira apresenta (0,75 g/cm³) (InsideWood) e possivelmente pelo seu teor de lignina (SANTOS *et al.*, 2016).

Tabela 1. Características energéticas do carvão da *C. erectus*.

	PCS (Kcal/kg)	PCI (Kcal/kg)	PCU(Kcal/kg)	Densidade energé- tica (Kcal/m ³)
Médias	7281,10	6957,10	6524,40	3.510.646,51
Coefici- ente de variação (%)	1,16	1,21	1,22	1,22

PCS = Poder calorífico superior. PCI = Poder calorífico inferior. PCU = Poder calorífico útil.

O poder calorífico é o calor total (energia térmica) liberado durante a combustão completa e, assim a espécie que apresenta um maior poder calorifico é a mais desejada, para fins de uso residencial a qual essa espécie é utilizada. Segundo Rosa

et al. (2012) e Costa *et al.* (2017) ao trabalhar com carvão vegetal para uso residencial, encontraram valores de 6.100 a 7.800 kcal.kg⁻¹, para poder calorífico superior, mostrando que a *C. erectus* atende a esse parâmetro, sendo viável seu uso para cocção de alimentos.

Pode-se compreender a densidade energética como a quantidade de energia por unidade de volume de combustível: poder calorífico útil (PCU) multiplicado pela densidade da biomassa. Dias Júnior (2013) observou que durante a utilização de biomassa para fins energéticos, aqueles com as maiores densidades levarão mais tempo para se deteriorar termicamente até a completa calcinação, do que aqueles com as menores densidades. De acordo com Foelkel (2016), a densidade energética de qualquer biomassa é extremamente influenciada pelo seu teor de umidade, pela densidade aparente ou a granel e, pelo seu poder calorífico útil, que muda muito conforme alteração do teor de umidade da biomassa.

Costa *et al.* (2017) e Silva *et al.* (2018), ao trabalharem com o carvão vegetal, encontram valores que variam de 2600 a 3146 Mcal m⁻³ para carvão destinado à cocção de alimentos, sendo tais parâmetros satisfatórios para esse uso. Na **Tabela 1**, o valor da densidade energética do *C. erectus* foi de 3.510.646,51 Kcal/m³ e, devido ao seu elevado valor, foi considerado adequado para uso residencial.

4. CONCLUSÃO

O carvão vegetal da espécie *C. erectus* quando produzido no protocolo ideal, ou seja, com taxa de aquecimento e temperatura máxima controlados visando melhor qualidade de carvão vegetal apresenta valores energéticos adequados para o uso residencial.

5. REFERÊNCIAS

BARTZ, M. C., DE MELO JÚNIOR, J. C. F., & LARCHER, L. Variação morfológica de *Laguncularia racemosa* (L.) C. F. Gaertn. (Combretaceae) em áreas de manguezal e de transição entre manguezal e floresta de restinga. **Biotemas**, 2015 28 (1): 21-29

BRITO, J.O. Princípios de produção e utilização do carvão vegetal de madeira. Piracicaba: **ESALQ**, 1990.

CARNEIRO, D. B.; BARBOZA, M. S. L.; MENEZES, M. P. Plantas nativas úteis na Vila dos Pescadores da Reserva Extrativista Marinha Caeté-Taperaçu, Pará, Brasil. **Acta bot. bras.** 24(4): 1027-1033. 2010.

COSTA, A.C.S. Qualidade do carvão vegetal para cocção de alimentos comercializado em Cuiabá – MT. **Nativa**, Sinop, v. 5, n. 6, p. 456-461, 2017. DOI: 10.5935/2318-7670.v05n06a12.

DIAS JÚNIOR, A. F. **Caracterização de briquetes produzidos com resíduos agroflorestais. Monografia** (TCC - Engenharia Florestal (Seropédica) – universidade federal rural do rio de janeiro, 2013. <http://rima.im.ufrj.br:8080/jspui/handle/1235813/5334>

FERNANDES M.E.B., OLIVEIRA F.P., EYZAGUIRRE I.A.L. Mangroves on the Brazilian Amazon Coast: Uses and Rehabilitation. In: Makowski C., Finkl C. (eds) Threats to **Mangrove Forests**. Coastal Research Library, vol 25. Springer, Cham. 2018. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73016-5_29.

FOELKEL, C. E. B. Utilização da Biomassa do Eucalipto para Produção de Calor, Vapor e Eletricidade Parte 1: Biomassa Florestal & Florestas Energéticas. In: **Eucalyptus Online Book & Newsletter**, 2016.

GILMAN, E.F., WATSON, D.G. **Conocarpus erectus, Buttonwood. Gainesville: Institute of Food and Agricultural Sciences**, University of Florida. 1993.

INSIDEWOOD. Disponível em: <http://insidewood.lib.ncsu.edu/Search>. Acesso em: 26 de maio de 2024.

LIMA, S. R. D., OLIVEIRA, G. S. D., MORAIS, S. A. L. D., NASCIMENTO, E. A. D., & CHANG, R. Estudo dos constituintes macromoleculares, extrativos voláteis e compostos fenólicos da madeira de candeia – *Moquinia polymorpha* (Less.) DC. **Ciência Florestal**; 145-155, 2007.

OLIVEIRA, U. A. P., PAGLIA, A. D., BRESCOVIT, C. J. B., CARVALHO, D. P., SILVA, D., TEXEIRS, F. S. F., LEITE, J. A. N., BATISTA, J. P. P., PENABARBOSA, J. R., STEHMANN, J. S. The strong influence of collection bias on biodiversity knowledge shortfalls of Brazilian terrestrial biodiversity. **Diversity and Distributions**; 1232-1244, 2016

PROST, C.; MENDES, A.C.; VERGARA-FILHO, W. As RESEX's marinhas como instrumento de desenvolvimento socioambiental das comunidades tradicionais do litoral paraense. **VIII Workshop ECOLAB**. Macapá, Livro de Resumos Expandidos, 2007.

RABELO, T.O. et al. A Contribuição da Geodiversidade na prestação dos Serviços Ecosistêmicos do manguezal. **REGNE**, Vol. 4, Nº Especial, 2018.

ROSA, R.A. Qualidade do carvão vegetal para o consumo doméstico. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, Gurupi, v. 3, n. 2, p. 41-48, 2012.

ROWELL, R. M., PETTERSEN, R., HAN, J. S., ROWELL, J. S., & TSHABALALA, M. A. CELL WALL CHEMISTRY. **Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites**. New York: Taylor & Francis Group, 3, 2005

SANTOS, R. C. D., CARNEIRO, A. D. C. O., VITAL, B. R., CASTRO, R. V. O., VIDAURRE, G. B., TRUGILHO, P. F., & CASTRO, A. F. N. M. Influência das propriedades químicas e da relaçãoiringil/guaiacil da madeira de eucalipto na produção de carvão vegetal. **Ciência Florestal**, Santa Maria, 26 (2); 657-669, 2016.

SILVA, T.R. Densidade energética da madeira de *Rhizophora mangle*. **Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade de Brasília (UnB)**, Brasília – DF, 2018.

SOUZA, M. R. **Estaquia e miniestaquia de Conocarpus erectus L. e Rhizophora mangle. L.** Monografia, Universidade Federal Rural do Semiárido, 2020.