

Potencial energético da biomassa e do biocarvão de bambu *Dendrocalamus strictus* (Roxb.) Nees

Krisnna Sousa Alves; Ana Marcia Macedo Ladeira Carvalho¹; Marcelo Moreira da Costa²;
Amanda Ladeira Carvalho³; Peter Alisson Ribeiro Gonçalves⁴; Tiago Guimarães⁵

Resumo: A utilização do bambu como biomassa energética torna-se uma alternativa sustentável e atrativa, pois dentre suas várias características, destaca-se a alta produtividade, o rápido crescimento e maturidade. O objetivo foi avaliar o potencial energético do bambu, analisando as propriedades da biomassa in natura e do carvão vegetal. A densidade básica do *Dendrocalamus strictus* foi de 0,517g.cm⁻³. O poder calorífico superior da biomassa in natura e do carvão vegetal foi de 4517,2 kcal.kg⁻¹ e 7648,18 kcal.kg⁻¹, respectivamente. A biomassa in natura apresentou 16,58% de carbono fixo, 80,22% de materiais voláteis e 3,02% de cinzas, enquanto o carvão vegetal apresentou 84,96%, 6,83% e 8,20%, respectivamente. O rendimento gravimétrico do carvão vegetal foi de 31,21%. A partir da caracterização realizada neste estudo, conclui-se que a espécie apresenta características favoráveis para a utilização com fins energéticos.

Palavras-chave: Caracterização, Energia da biomassa, Poder calorífico.

Energy potential of biomass and bamboo charcoal *Dendrocalamus strictus* (Roxb.) Nees.

Krisnna Sousa Alves; Ana Marcia Macedo Ladeira Carvalho¹; Marcelo Moreira da Costa²;
Amanda Ladeira Carvalho³; Peter Alisson Ribeiro Gonçalves⁴; Tiago Guimarães⁵

Abstract: The use of bamboo as energy biomass becomes a sustainable and attractive alternative, as among its various characteristics, high productivity, rapid growth and maturity stand out. The objective was to evaluate the energy potential of bamboo, analyzing the properties of fresh biomass and charcoal. The basic density of *Dendrocalamus strictus* was 0.517 g.cm⁻³. The higher calorific value of fresh biomass and charcoal was 4517.2 kcal.kg⁻¹ and 7648.18 kcal.kg⁻¹, respectively. Fresh biomass presented 16.58% fixed carbon, 80.22% volatile materials and 3.02% ash, while charcoal presented 84.96%, 6.83% and 8.20%, respectively. The gravimetric yield of charcoal was 31.21%. Based on the characterization carried out in this study, it is concluded that the species presents favorable characteristics for use for energy purposes.

Keywords: Characterization, Biomass energy, Calorific value.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil tem fontes abundantes de biomassa e, dentre os países da América, é o que apresenta maior diversidade de espécies de bambu, biomassa que surge como uma alternativa para diversificar a matriz energética, tornando-se uma forte concorrente de outras fontes de biomassa utilizadas tradicionalmente para a produção de energia. características energéticas são similares a híbridos

de eucalipto, indicando o seu potencial para uso (Santos et al., 2016; Silva et al., 2023).

O *Dendrocalamus strictus* é uma espécie de bambu em crescente demanda, principalmente em função da alta tolerância à seca, sendo considerado adequado para locais de baixa pluviosidade e solos pobres (Rajput et al., 2019). É amplamente utilizado na Índia para diversas finalidades como construção civil, cestaria, esteiras, cabos de móveis e ferramentas (Sihag et al., 2022).

Considerando que as espécies de bambu, em geral, têm características adequadas para o aproveitamento energético (Marafon et al., 2019; Rusch et al. 2020) e que o *Dendrocalamus strictus* tem características silviculturais favoráveis para plantio, entende-se que os estudos das propriedades químicas e físicas do bambu são fundamentais para difundir as aplicações industriais e os usos potenciais dessa matéria-prima.

Em madeira, a biomassa mais amplamente utilizada para a produção energética, as características mais indicadas para a análise visando a geração de energia, são a massa específica, o poder calorífico superior e o teor de carbono fixo (Brun et al., 2018). Dito isso, o trabalho objetivou caracterizar e analisar as propriedades da biomassa in natura e do carvão vegetal de bambu, visando seu uso energético.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Seleção do material

Para a realização deste trabalho, utilizou-se a espécie *Dendrocalamus strictus* (Roxb.) Nees, coletada no município de São João do Oeste - PR, com altitude de 313 m metros acima do nível do mar, nas coordenadas geográficas 27°05'55" S de latitude e 53°35'34" W de longitude. O clima é classificado como subtropical úmido-Cfa, com temperatura média de 20.0°C com média anual de pluviosidade de 1841 mm.

Os colmos utilizados no estudo tinham, aproximadamente, 28,66 mm de diâmetro com comprimento dos entrenós de 36,93 cm. As hastes tinham 20 m de altura e dois a três anos de idade.

2.2 Carbonização

Para a carbonização, utilizou-se os cavacos do colmo do bambu que foram

previamente secos em estufa a $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ até atingirem massa constante.

As carbonizações foram conduzidas em um forno elétrico tipo mufla, utilizando, aproximadamente, 200 a 300 g de bambu inseridas em um recipiente metálico com dimensões nominais de 0,08 m de comprimento, 0,085 m de diâmetro e um volume de aproximadamente $0,0004\text{ m}^3$. O controle do aquecimento foi realizado manualmente conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Marcha de carbonização utilizada.

Tempo (min)	30	30	60	60	60	60	60	90	Tempo total
Temperatura (°C)	150	200	250	350	400	500	600	700	7,5 h

Após as carbonizações, o rendimento gravimétrico em carvão vegetal, com base na massa seca, , foram determinados segundo a equação (1).

Onde,

RG = Rendimento gravimétrico em carvão vegetal

(%) MC = Massa do carvão vegetal (g)

MB = Massa seca do bambu (g)

2.3 Caracterização da biomassa e do carvão

Foram selecionados corpos de prova das hastes de bambu para a determinação da densidade básica, realizada pelo método de imersão em água, de acordo com a norma ABNT NBR 11941 (ABNT, 2003).

Para as análises químicas e termogravimétricas foram utilizadas amostras trituradas de biomassa e carvão vegetal, que passaram pela peneira com malha de 40 mesh e ficaram retidas na peneira com malha de 60 mesh. As amostras foram secas em estufa a $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ até massa constante.

Para a realização da análise química elementar das amostras de bambu, foi utilizado o equipamento CHNS-O modelo LECO. Os percentuais de carbono, hidrogênio, nitrogênio e enxofre foram determinados no módulo TruSpec CHNS Micro. A composição química imediata foi determinada de acordo com a norma

ABNT NBR 8112 (ABNT, 1986), substituindo-se o cadinho de platina por cadinho de porcelana e a temperatura para determinação do teor de cinzas de 750°C para 600°C. O poder calorífico superior foi determinado utilizando-se uma bomba calorimétrica adiabática IKA300, segundo metodologia descrita pela ABNT NBR 8633 (1984).

O comportamento e a estabilidade térmica dos biocarvões foram investigados por análise termogravimétrica (TGA), em um analisador ShimadzuDTG 60 H. As varreduras foram realizadas entre as temperaturas de 25 e 900°C com taxa de 10°C min⁻¹ sob atmosfera inerte de N₂ e fluxo de 50 mL.min⁻¹.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade básica da espécie *D. strictus* foi 0,517g.cm⁻³ e, segundo Vale *et al.* (2017), essa característica é um importante fator a ser considerado na escolha da biomassa para fins energéticos, pois está diretamente relacionada com o poder calorífico da biomassa, além de proporcionar um aumento da resistência do carvão vegetal.

A determinação da composição química elementar da biomassa desempenha um papel fundamental para entender seu comportamento energético (Marafon *et al.*, 2016). Os dados referentes à análise química elementar se encontram na Tabela 2.

Tabela 2. Análise química elementar da biomassa in natura e do carvão vegetal de *D. strictus*.

Espécies	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	O* (%)
Bambu	44,73	5,36	0,259	0,051	49,52
Carvão vegetal	89,66	1,31	0,132	0,031	8,87

* Obtido pela soma dos elementos, decrescido de 100%.

Os valores de carbono são compatíveis com os obtidos por Macedo *et al.* (2014) e Lin *et al.* (2016) para espécies de bambu, do gênero *dendrocalamus*.

A quantidade de nitrogênio elementar encontrado é considerado baixo, pois valores entre 0,19 e 0,26% para as espécies de bambu se encaixam nessa categoria. Baixos teores de nitrogênio são importantes para a proteção ambiental, uma vez que o óxido de nitrogênio (NO_x) produzido durante a queima do material

pode promover danos ambientais (Xavier, 2016).

Na Tabela 3, encontram-se os valores da análise química imediata da biomassa in natura e do carvão vegetal. de *D. strictus*.

Tabela 3. Análise química imediata da biomassa in natura e do carvão vegetal de *D. strictus*.

Espécies	Materiais voláteis (%)	Carbono Fixo (%)	Teor de Cinzas (%)
Bambu	80,22	16,58	3,02
Carvão vegetal	6,83	84,96	8,20

Constata-se que os valores de materiais voláteis obtidos para o carvão vegetal, estão associados ao aumento da temperatura final de carbonização. Silva et al. (2018), avaliando a influência da temperatura final de carbonização, observou que com o aumento da temperatura final, houve uma diminuição do teor de materiais voláteis.

O teor de carbono fixo encontrado para o *D. strictus* foi considerado superior ao normalmente encontrado em outras espécies de bambu. Brand *et al.* (2020) e Santos et al. (2016) encontraram valores médios de 67,32 a 75,84% de carbono fixo. Ressalta-se que estes autores trabalharam com temperatura final de carbonização de 450 °C, porém no presente trabalho a temperatura de carbonização final foi de 700 °C.

Os teores de cinzas encontrados para o bambu in natura e no carvão vegetal foram, 02 e 8,20%. De acordo com Liu *et al.* (2014), os elevados teores de cinzas das espécies de bambu se dão pelos altos teores de sílica presentes na composição química dos colmos.

A quantificação do poder calorífico superior (PCS) é importante para a avaliação do potencial combustível da biomassa, estando o PCS relacionado com a composição química elementar e com os teores de carbono fixo. Os valores de PCS obtidos para o bambu in natura foram de 4421,6 kcal.kg⁻¹ e para o carvão vegetal de 7504,78 kcal.kg⁻¹, valores compatíveis com os encontrados na literatura para a madeira de eucalipto para uso na queima direta (Carneiro et al., 2013).

O rendimento gravimétrico em carvão vegetal foi 31,21%. Vargas da Silva et

al. (2022) obtiveram valores de 33,96 e 31,14% para o rendimento gravimétrico dos carvões vegetais de bambus do gênero *Dendrocalamus* (*D. Giganteus*) com 12 e 7 anos com temperatura final de 450°C, e tempo 4h30.

Na Figura 1 estão apresentadas as curvas TG e DTG para a biomassa in natura e para o carvão vegetal. Foi observado o comportamento típico de decomposição térmica de materiais lignocelulósicos.

Figura 1. Curvas TG e DTG para o bambu in natura (a) e o carvão vegetal (b)

A primeira etapa de perda de massa visualizada na curva de TG (Figura 1.a) está relacionada à perda de umidade e ocorre à temperaturas inferiores a 150°C.

O intervalo de temperatura, referente à segunda etapa de degradação, corresponde à decomposição térmica das hemiceluloses e da celulose, com perda de massa superior à 50%. A perda de massa na terceira etapa foi consequência da degradação da lignina, componente com uma estrutura mais complexa, como os compostos aromáticos, fazendo com que a decomposição térmica ocorra, principalmente, em temperaturas mais elevadas, superiores a 400°C (Rambo et al., 2015).

Para o carvão vegetal, é possível observar uma perda de massa inicial referente a umidade, porém o mesmo se mantém termicamente estável com o aumento da temperatura.

4. CONCLUSÃO

Conclui-se que a biomassa da espécie *D. strictus* tem características favoráveis como potencial fonte de energética, apresentando semelhança com o *Eucalyptus* spp., utilizado comumente para fins energéticos. Recomenda-se a realização de estudos de parâmetros de ordem técnico-econômica ligados a produtividade e adequação de equipamentos.

5. AGRADECIMENTOS



Engenharia
Industrial
Madeireira



SOCIEDADE BRASILEIRA
DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DA MADEIRA

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

(CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), à Universidade Federal de Viçosa (UFV), ao Departamento de Engenharia Florestal (DEF/UFV), à Sociedade de Investigações Florestais, à EMBRAPA Unidade Fibras Florestais.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 11941**: Madeira - Determinação da densidade básica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8112**: Carvão vegetal: Análise imediata. Rio de Janeiro, 1986. p. 5.

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

BRAND, M. A., GAA, A. Z. N., BALDUINO JUNIOR, A. L. *et al.* Potencial do uso de quatro espécies de bambu para a produção de carvão vegetal para uso doméstico. **Ciência Florestal**, v. 30, p. 60-71, 2020.

BRUN, E. J., BERSCH, A. P., ALVES PEREIRA, F. *et al.* CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DA MADEIRA DE TRÊS MATERIAIS GENÉTICOS DE *Eucalyptus* sp. **Floresta**, v. 48, n. 1, 2018.

CARNEIRO, A. C. O. Pirólise lenta da madeira para produção de carvão vegetal. In: SANTOS, F.; COLODETTE, J.; QUEIROZ, J. H. (Ed.) **Bioenergia e biorrefinaria - Cana-de-açúcar e Espécies Florestais**. Viçosa: UFV, 2013. p. 429-455.

LIN LANGDONG, L. L., CHANG FANGCHIN, C. F., KO CHUNHAN, K. C. *et al.* Bamboo-derived fuel from *Dendrocalamus latiflorus*, *Phyllostachys makinoi*, and *Phyllostachys pubescens* waste. **BioResources**, V.11, No. 4, 8425-8434 ref. 32

LIU, Z., FEI, B., & JIANG, Z. Combustion characteristics of bamboo-biochars. **Bioresource Technology**, v. 167, p. 94-99, 2014.

MACEDO, Lucélia Alves; ROUSSET, Patrick Louis Albert; VALE, Ailton Teixeira. Influência da composição da biomassa no rendimento em condensáveis da torrefação de resíduos vegetais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 80, p. 417-424, 2014.

MARAFON, A. C.; AMARAL, A. F. C.; LEMOS, E. E. P. de. Caracterização de espécies de bambu e outras biomassas com potencial para a geração de energia térmica. **Pesquisa Agropecuária Industrial**, v. 49, 2019.

MARAFON, A. C; SANTIAGO, A. D; AMARAL, A. F. C; BIERHALS, A. N; PAIVA, H. L;

GUIMARAES, V. DOS S. Uso da Biomassa para a geração de energia. Aracaju: **Embrapa Tabuleiros Costeiros**, 2016. 28 p.

RAJPUT, B. S., JANI, M. D., GUJJAR, M. R., & SHEKHAWAT, M. S. Effective and large scale in vitro propagation of *Dendrocalamus strictus* (Roxb.) Nees using nodal segments as explants. **World Scientific News**, n. 130, p. 238-249, 2019.

RAMBO, M. K. D., RAMBO, M. C. D., ALMEIDA, K. J. C. R., & ALEXANDRE, G. P. Estudo de Análise Termogravimétrica de Diferentes Biomassas Lignocelulósicas Utilizando a Análise por Componentes Principais. **Ciência e natureza**, v. 37, n. 3, p. 862-868, 2015.

RUSCH, F., DE MORAES LÚCIO, D., DE CAMPOS, R. F. Potential of bamboo for energy purposes. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e40973537-e40973537, 2020.

SANTOS, D. D. S., SETTE JUNIOR, C. R., SILVA, M. D. *et al.* Potencial de espécies de bambu como fonte energética. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 111, p. 751-758, 2016

SIHAG, K., YADAV, S. M., LUBIS, M. A. R. *et al.* Influence of needle-punching treatment and pressure on selected properties of medium density fiberboard made of bamboo (*Dendrocalamus strictus* Roxb. Nees). **Wood Material Science & Engineering**, v. 17, n. 6, p. 712-719, 2022.

SILVA, G. V. D., FARIAS, D. T. D., COLDEBELLA, R. *et al.* Biomassa de *Dendrocalamus giganteus* como recurso bioenergético. **Ciência Florestal**, v. 32, p. 2244-2262, 2023.

SILVA, R. C. da., MARCHESAN, R., FONSECA, M. R. *et al.* Influência da temperatura final de carbonização nas características do carvão vegetal de espécies tropicais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, 2018.

VALE, A. T. do., MOREIRA, A. C. de O., MARTINS, I. S. Evaluation of *Bambusa vulgaris* Energy Potential Based on Age. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. e00123314, 2017.

VARGAS DA SILVA, G., TAVARES DE FARIAS, D., COLDEBELLA, R. *et al.* Biomassa de *Dendrocalamus giganteus* como recurso bioenergético. **Ciência Florestal (01039954)**, v. 32, n. 4, 2022.

XAVIER, Thiago Padovani. **Contribuições para a pirólise da casca de macadâmia em leito de jorro cônico**. 2016. 162 f. Tese (Doutorado em Engenharias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.