

## POTENCIAL ENERGÉTICO DE MADEIRAS DO CERRADO PARA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL

Vaniele Bento dos Santos<sup>1\*</sup>; Edy Eime Pereira Baraúna<sup>2</sup>; Fernando Colen<sup>2</sup>; Talita Baldin<sup>2</sup>; Sâmara  
Magdalene Vieira Nunes<sup>1</sup>; Patrick da Cruz Silva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro/ES, Brasil.

<sup>2</sup> Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Montes Claros/MG, Brasil.

\* e-mail do autor correspondente: [vanielebento@hotmail.com](mailto:vanielebento@hotmail.com)

**Resumo:** O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial energético das madeiras de *Astronium fraxinifolium* e *Enterolobium gummiferum*, espécies de ocorrência do Cerrado mineiro, visando a produção de carvão vegetal. Foram retirados discos a 1,30 m do solo de três árvores de cada espécie, que posteriormente foram transformados em cunhas que foram aplicadas nas análises das características da madeira e produção do carvão vegetal em forno tipo Mufla. Determinou-se a densidade básica da madeira, densidade aparente do carvão vegetal, poder calorífico superior e densidade energética de ambos os materiais. As madeiras em estudo apresentam potencial para aplicação em fins energéticos. Com destaque para *A. fraxinifolium* que apresentou carvão vegetal mais denso, energético, e de maior rendimento gravimétrico.

**Palavras-chave:** Densidade energética; Poder calorífico; Rendimento gravimétrico; Espécie nativas.

## ENERGY POTENTIAL OF WOOD FROM THE CERRADO FOR CHARCOAL PRODUCTION

**Abstract:** The objective of this work was to evaluate the energetic potential of the woods of *Astronium fraxinifolium* and *Enterolobium gummiferum*, species that occur in the Cerrado of Minas Gerais, aiming at the production of charcoal. Discs were removed at 1.30 m from the ground of three trees of each species, which were later transformed into wedges that were applied in the analysis of wood characteristics and charcoal production in a muffle furnace. The basic density of wood, apparent density of charcoal, higher calorific value and energy density of both materials were determined. The woods under study have potential for application in energy purposes. With emphasis on *A. fraxinifolium*, which presented charcoal that was denser, energetic, and with greater gravimetric yield.

**Keywords:** Energy density; Calorific value; Gravimetric performance; Native species.

## 1. INTRODUÇÃO

A biomassa florestal é importante para a matriz energética brasileira. O carvão vegetal, por exemplo, posiciona o Brasil como principal produtor no mundo, em que sua principal aplicação é no setor siderúrgico devido seu elevado grau de pureza e baixo custo de produção [1]. Além de ser utilizado como fonte de energia nos setores industrial, comercial, agropecuário e residencial [2].

A produção de carvão vegetal no Brasil é realizada em sua maioria com espécies provenientes de povoamentos implantados de *Eucalyptus* [3]. Contudo, estes ainda não são suficientes para cobrir a demanda de matéria-prima, o que ocasiona a exploração desordenada das florestas nativas, principalmente no Cerrado mineiro, onde se concentram a maioria das indústrias siderúrgicas do país [4].

São poucos os estudos que descrevem as características das espécies nativas que exercem influência no processo de carbonização. Estes estudos são necessários para o conhecimento do potencial energético dessas espécies e para a obtenção de árvores com alta produção volumétrica e madeira com as características ideais para este fim, através de plantios ordenados e/ou plano de manejo sustentável [5].

Diante deste cenário, o presente estudo teve como objetivo avaliar o potencial energético das madeiras de *Astronium fraxinifolium* Schott (Gonçalo-alves) e *Enterolobium gummiferum* (Mart.) J.F.Macbr (timburi-do-cerrado), espécies de ocorrência do Cerrado mineiro, visando à produção de carvão vegetal.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados dois discos de 5 cm de espessura do DAP (diâmetro a 1,3 m do solo) de três árvores de *Astronium fraxinifolium*, coletadas no município de Montes Claros, MG, Brasil (coordenadas: 16° 41' 04"W, 43° 50' 50"S), e de três árvores de *Enterolobium gummiferum*, coletadas no município de Carbonita, MG, Brasil (coordenadas: 43° 8' 21"W, 17° 32' 23"S). Ambos os exemplares foram provenientes de uma área de vegetação remanescente do bioma Cerrado.

Os dois discos de cada árvore foram divididos perpendicularmente em quatro cunhas. Duas cunhas opostas foram utilizadas para determinar a densidade básica das madeiras. As demais cunhas foram confeccionadas em amostras para a análise energética da madeira e para a produção e caracterização do carvão vegetal.

As carbonizações foram realizadas em forno elétrico tipo mufla, utilizando-se aproximadamente 300 g de madeira previamente seca a  $105\pm 3^{\circ}\text{C}$  e temperatura final de  $450^{\circ}\text{C}$ . A

taxa média de aquecimento para a realização da pirólise foi de  $1,67\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , conforme metodologia de Trugilho et al. [6]. Após cada carbonização, foi calculado o rendimento gravimétrico em carvão vegetal conforme Protásio et al. [7].

A densidade básica das madeiras foi determinada de acordo com a NBR 11941 [8], que consistiu na relação entre a massa seca da madeira pelo seu volume saturado. Para o carvão vegetal determinou-se a densidade aparente pela adaptação da metodologia de Vital [9] com substituição da água por mercúrio. O poder calorífico superior de ambos os materiais foi determinado em uma bomba calorimétrica adiabática de acordo com a NBR 8633 [10]. E a densidade energética foi obtida pelo produto da densidade básica pelo poder calorífico superior.

Os dados foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk e de Levene a 5% de significância para testar a normalidade dos resíduos e a homogeneidade entre as variâncias. Em seguida, aplicou-se a análise de variância (ANOVA) pelo teste F a 5% de significância.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A madeira de *Astronium fraxinifolium* apresentou maior potencial de energia do que a *Enterolobium gummiferum*. Contudo, para o carvão vegetal o maior potencial energético foi observado para o carvão de *E. gummiferum* (Tabela 1). Isto pode estar associado à composição química da madeira das espécies, tendo em vista que o poder calorífico superior está diretamente associado ao teor de carbono fixo do material, e, conseqüentemente, ao seu potencial e concentração de energia.

Tabela 1: Caracterização da madeira e do carvão vegetal de *Astronium fraxinifolium* e *Enterolobium gummiferum*.

Material	Propriedade	<i>A. fraxinifolium</i>	<i>E. gummiferum</i>
Madeira	P.C.S (MJ kg <sup>-1</sup> )	17,59 A	17,21 B
	D.B. (kg m <sup>-3</sup> )	632 A	548 B
	D.E. (GJ m <sup>-3</sup> )	11,12 A	9,43 B
Carvão vegetal	P.C.S (MJ kg <sup>-1</sup> )	30,11 A	31,56 A
	D.A. (kg m <sup>-3</sup> )	461 A	313 B
	D.E. (GJ m <sup>-3</sup> )	13,88 A	9,88 B
	R.G. (%)	31,82 A	28,54 B

Média seguida da mesma letra na linha não diferem entre si a 5% de significância pelo teste F.

Em que: P.C.S. = Poder calorífico superior; D.B. = Densidade básica; D.E. = Densidade energética; D.A. = Densidade aparente; R.G. = Rendimento gravimétrico.

Em relação à densidade básica também houve diferença significativa entre as madeiras. *A. fraxinifolium* apresentou maior massa específica em relação a *E. gummiferum*, porém, ambas as espécies foram classificadas como de média densidade (500 a 700 kg m<sup>-3</sup>) [11]. Para o carvão vegetal, *A. fraxinifolium* também apresentou maior densidade aparente, no qual está associado à maior densidade básica da sua madeira, visto que existe alta correlação entre os parâmetros [12]. No entanto, para ambas, os valores médios foram semelhantes àqueles descritos na literatura para o carvão de espécies do Cerrado, que variam entre 255 a 475 kg m<sup>-3</sup> [12; 13] e também quando comparados ao carvão de *Eucalyptus*, 255 a 425 kg m<sup>-3</sup> [14; 15].

Uma vez que a densidade energética está diretamente correlacionada à densidade e ao poder calorífico do material, tanto a madeira quanto o carvão vegetal da *A. fraxinifolium* apresentaram maior quantidade de calor em um determinado volume em relação à *E. gummiferum*, e também quando comparada a madeira (7,83 a 16,16 GJ m<sup>-3</sup>) [16; 17] e carvão vegetal do gênero *Eucalyptus* (8,37 a 12,61 GJ m<sup>-3</sup>) [7; 15].

Para o rendimento gravimétrico em carvão vegetal, *A. fraxinifolium* também se destacou com maiores valores significativos, indicando assim, ser uma espécie com maior potencial energético para produção de carvão vegetal. Contudo, se analisada pontualmente os parâmetros de densidade e poder calorífico, ambas as espécies estudadas encontram-se na média exigida pelo setor de carvão vegetal.

#### 4. CONCLUSÕES

As madeiras em estudo apresentam características satisfatórias que as potencializam para fins energéticos. Com destaque para *Astronium fraxinifolium* que apresentou carvão vegetal mais denso, energético, e de maior rendimento gravimétrico.

#### 5. REFERÊNCIAS

- [1] Machado, F. S.; Andrade, A. M. Propriedades Termoquímicas dos Finos de Carvão Vegetal e de Carvão mineral para a Injeção nas Ventaneiras de Altos-Fornos Siderúrgicos. Revista Biomassa e Energia, v. 1, n.4, p. 353-363, 2004.
- [2] Balanço Energético Nacional (BEN). Relatório Síntese – Ano base 2019. Empresa de Pesquisa Energética, EPE, Rio de Janeiro, 2020.
- [3] Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ). Relatório Anual 2021. 2022.
- [4] Costa, T. G.; Bianchi, M. L.; Protásio, T. de P.; Trugilho, P. F.; Pereira, A. J. Qualidade da madeira de cinco espécies de ocorrência no cerrado para produção de carvão vegetal. Cerne, [S.L.], v. 20, n. 1, p. 37-46, mar. 2014.

- [5] Silva, P.H.C. Análise do potencial energético (carvão vegetal) de espécies nativas, *Eucalyptus* sp. e bambu. 2017. 22 p. Trabalho de Conclusão de Curso. (Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias - MBA em Gestão Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.
- [6] Trugilho, P. F.; Silva, J. R. M.; Mori, F. A.; Lima, J. T.; Mendes, L. M.; Mendes, L. F. B. Rendimentos e características do carvão vegetal em função da posição radial de amostragem em clones de *Eucalyptus*. *Cerne*, Lavras, MG, v. 11, n. 2, p. 178-186, 2005.
- [7] Protásio, T. P.; Couto, A. M.; Trugilho, P. F.; Guimarães Júnior, J. B.; Lima Junior, P. H.; Silva, M. M. O. Avaliação tecnológica do carvão vegetal da madeira de clones jovens de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 43, n. 108, p. 801-816, dez. 2015.
- [8] Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT). NBR 11941: Madeira: Determinação da densidade básica da madeira. Rio de Janeiro, 2003.
- [9] Vital, B. R. (1984). Métodos de determinação da densidade da madeira. Viçosa: SIF, 21p. (Boletim Técnico, 1).
- [10] Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT). NBR 8633: Carvão vegetal: Determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1984.
- [11] Melo, J. E.; Coradin V. T. R.; Mendes J. C. Classes de densidade para madeiras da Amazônia brasileira. *Silvicultura*, São Paulo, v. 12, n. 42, p. 695-699, 1992.
- [12] Vale, A. T.; Dias, I. S.; Santana, M. A. E. Relações entre propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies de cerrado. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 137-145. 2010.
- [13] Siqueira, H. F.; Patrício, E. P. S.; Lima, M. D. R.; Guimarães Júnior, J. B.; Carneiro, A. C. O.; Trugilho, P. F.; Protásio, T. P. Avaliação de três madeiras nativas do cerrado goiano visando à utilização energética. *Nativa*, Sinop, v. 8, n. 5, p. 615-624, set./out. 2020.
- [14] Castro, A. F. N. M.; Castro, R. V. O.; Carneiro, A. C. O.; Lima, J. E.; Dos Santos, R. C.; Pereira, B. L. C.; Alves, I. C. N. A. Análise multivariada para seleção de clones de eucalipto destinados à produção de carvão vegetal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.48, n.6, p.627-635, jun. 2013.
- [15] Protásio, T. P.; Lima, M. D. R.; Scatolino, M. V.; Silva, A. B.; Figueiredo, I. C. R.; Hein, P. G. R.; Trugilho, P. F. Charcoal productivity and quality parameters for reliable classification of *Eucalyptus* clones from Brazilian energy forests. *Renewable Energy*, v. 164, p. 34-45, 2021.
- [16] Jesus, M. S.; Costa, L. J.; Ferreira, J. C.; Freitas, F. P.; Santos, L. C.; Rocha, M. F. V. Caracterização energética de diferentes espécies de *Eucalyptus*. *Floresta*, Curitiba, PR, v. 47, n. 1, p. 11 - 16, jan. / mar. 2017.
- [17] Silva, M. F.; Fortes, M. M.; Junior, C. R. S. Characteristics of Wood and Charcoal from *Eucalyptus* clones. *Floresta e Ambiente*, v. 25, p. 1-10, 2018.