



RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO E DENSIDADE APARENTE DO CARVÃO DE *Pinus* sp. E *Eucalyptus* sp.

Ryan Rodrigues da Silva¹; Macksuel Fernandes da Silva²; Ana Carolina Limiro da Silva³; Camila Martins de Sousa³; Magda Cardoso de Oliveira Martins³; Marília Amas Pires da Silva³

¹ Estudante de graduação em Engenharia Florestal, Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia/GO, Brasil; earyanrs@gmail.com

² Engenheiro Florestal, Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia/GO, Brasil.

³ Estudante de graduação em Engenharia Florestal, Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia/GO, Brasil.

Resumo: O Brasil é o maior produtor mundial de carvão vegetal e, por isso, é importante avaliar, através de estudos, a qualidade do carvão produzido. Na presente pesquisa, objetivou-se avaliar duas características quantitativas do carvão vegetal, o rendimento gravimétrico da carbonização e a densidade relativa aparente, dos dois gêneros mais plantados no país, *Eucalyptus* e *Pinus*. Corpos de prova foram produzidos a partir de tábuas já desdobradas, adquiridas em madeireiras do município de Goiânia/GO, e posteriormente carbonizados para quantificação. O efeito da espécie foi estatisticamente significativo apenas para o rendimento gravimétrico, onde o eucalipto apresentou ligeiro destaque em relação ao pinus. Quanto à densidade relativa aparente, observa-se que não houve diferença estatística significativa entre as duas espécies. Ambas espécies atingiram bons resultados de rendimento gravimétrico de carvão vegetal, o que demonstra que a matéria-prima mais utilizada para a produção de carvão vegetal no país tem bons indicativos de qualidade.

Palavras-chave: Eucalipto; *Pinus*; Energia de biomassa; Carbonização

GRAVIMETRIC YIELD AND APPARENT RELATIVE DENSITY OF CHARCOAL FROM A *Pinus* sp. AND AN *Eucalyptus* sp.

Abstract: Brazil is the world's largest producer of charcoal and, therefore, it is important to evaluate, through studies, the quality of the charcoal produced. In the present research, the objective was to evaluate two quantitative characteristics of charcoal, the gravimetric yield of carbonization and the apparent relative density, of the two most planted genera in the country, *Eucalyptus* and *Pinus*. Specimens were produced from already unfolded boards, acquired in lumber companies in the city of Goiânia/GO, and later carbonized for quantification. The effect of the species was statistically significant only for the gravimetric yield, where eucalyptus presented a slight prominence in relation to pine. As for the apparent relative density, it is observed that there was no statistically significant difference between the two species. Both species achieved good results in terms of gravimetric charcoal yield, which demonstrates that the raw material most used for charcoal production in the country has good quality indicators.

Keywords: Eucalyptus; Pine; Biomass energy; Carbonization

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é líder mundial em produção de carvão vegetal. A matéria-prima, essencial para diversas cadeias produtivas, é muito atrativa e substitui os insumos de origem fóssil, em razão do seu comportamento como combustível e biorredutor, por ser oriundo de fontes renováveis e por reforçar o compromisso ambiental, visto que reduz a emissão de GEEs. A siderurgia é o setor que mais emprega carvão vegetal como combustível no Brasil, consumindo em média 4 milhões de toneladas por ano [1].

O setor de árvores plantadas para fins industriais tem participação em 94% da produção de carvão vegetal. Em 2020, a área total de árvores plantadas no país totalizou 9,55 milhões de hectares. Entre as espécies, 78% da área é composta pelo cultivo de eucalipto e 18% de pinus [1]. A preferência por essas espécies certamente é uma estratégia para alcançar maior eficiência ao cultivar espécies de rápido crescimento, associado à redução do ciclo de corte, onde atingem, rapidamente, o tamanho econômico ideal.

A alta variabilidade de qualidade, associada à influência das características da madeira que lhe deu origem, gera excesso de desperdício nos fornos da siderurgia e, consequentemente, dificulta o uso do carvão vegetal [2]. Madeiras com maiores densidades, maiores teores de lignina, maior crescimento volumétrico são as de maior propensão para a produção de carvão vegetal. Logo, a avaliação da qualidade do carvão vegetal é substancial para examinar o potencial do material a ser utilizado como insumo energético.

Dentro desse contexto, o presente estudo teve como objetivo a determinação do rendimento gravimétrico e densidade relativa aparente de lotes considerados homogêneos de carvão vegetal de *Pinus* e *Eucalipto*, tendo em vista a grande disponibilidade dessas espécies, já que são as mais plantadas e comercializadas nacionalmente [1].

2. MATERIAL E MÉTODOS

As amostras foram obtidas em madeireiras do município de Goiânia/GO. Na avaliação do experimento, foi considerado o delineamento inteiramente casualizado (DIC) com dois tratamentos (espécies) e seis repetições (corpos de prova/amostras). As espécies utilizadas foram *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp. As amostras de madeira para o ensaio técnico foram retiradas de duas tábuas, sendo uma de cada espécie.

As tábuas, por serem obtidas já desdobradas em madeireira, se encontravam em condição de umidade de equilíbrio em torno de 12%. Essas foram submetidas a desdobramentos secundários para produzir corpos de prova com seções transversais retangulares, dimensões nominais de 2,0 cm x 3,0 cm e comprimento, ao longo das fibras, de 5,0 cm (Figura 1), como determina a norma [3],

adotada como diretriz para determinações das propriedades físicas da madeira nesse estudo.

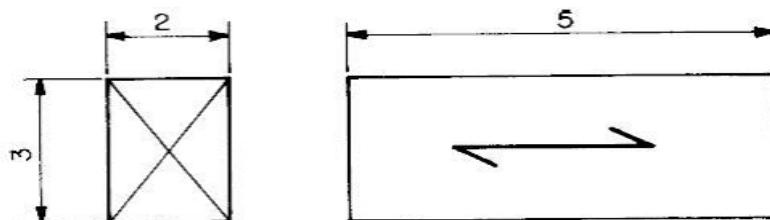


Figura 1. Corpo de prova para determinação de densidade, umidade e estabilidade dimensional da madeira.
 Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 1997.

Os corpos de prova confeccionados foram utilizados para estudos das seguintes propriedades físicas do carvão: densidade relativa aparente (DRA) e rendimento gravimétrico em carvão vegetal (RGC), determinadas no Laboratório de Qualidade da Madeira e Bioenergia da Universidade Federal de Goiás, em Goiânia.

2.1 Rendimento gravimétrico (RG)

O rendimento gravimétrico em carvão vegetal foi obtido em relação à massa seca de madeira. Os corpos de prova foram previamente secos em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ até atingirem a massa constante, momento em que se aferiu a massa seca da madeira. A carbonização ocorreu em forno mufla elétrico, modelo Linn Elektro Therm, equipado com um sistema de controle de temperatura e tempo. A carbonização ocorreu numa taxa de aquecimento de $1,67^{\circ}\text{C min}^{-1}$ e temperatura final de 450°C , permanecendo estabilizado na temperatura final por um período de 30 minutos. Finalizado o processo, o forno foi desligado, para o esfriamento e retirada dos carvões para aferição da massa seca do carvão e futuro cálculo dos rendimentos gravimétricos. Para a determinação do rendimento gravimétrico, utilizou-se da Equação (1):

(1)

Onde:

RG : rendimento gravimétrico, %;

m_{cs} : massa seca do carvão, g;

m_{ms} : massa seca da madeira, g.

2.2 Densidade relativa aparente (DRA)

Para se obter a densidade relativa aparente, os corpos de prova carbonizados tiveram suas dimensões e massa aferidas em condições de umidade de equilíbrio em torno de 12%. Com o

auxílio de um paquímetro com sensibilidade de 0,01 mm, foram aferidas as distâncias entre os lados dos corpos de prova e, em balança analítica com sensibilidade de 0,001 g, foi obtida a massa. Na determinação da densidade relativa aparente utilizou-se da Equação (2):

(2)

Onde:

DRA : densidade relativa aparente do carvão, g/cm³;

m_e : massa em umidade de equilíbrio do carvão, g;

V_e : volume em umidade de equilíbrio do carvão, cm³.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 encontram-se os valores médios de densidade relativa aparente e rendimento gravimétrico do carvão vegetal para as duas espécies avaliadas, bem como o teste de comparação de médias realizado. Observou-se pelo Teste de Tukey que o efeito da espécie foi significativo apenas para o rendimento gravimétrico. Quanto à densidade relativa aparente, observa-se que não houve diferença estatística significativa entre as duas espécies. Verifica-se ainda que os coeficientes de variação experimental foram baixos para as características avaliadas.

Tabela 1 – Valores médios das características avaliadas no carvão, bem como o teste de comparação de médias realizado

Espécies	DRA (g/cm ³)	RGC (%)
<i>Pinus</i> sp.	0,295 a	35 a
<i>Eucalyptus</i> sp.	0,291 a	36 b
CVe (%)	1,08	2,06

DRA: densidade relativa aparente; RGC: rendimento gravimétrico em carvão vegetal; CVe: coeficiente de variação experimental. Valores médios seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey em nível de 5% de significância.

Segundo [4] e [5], considerando-se os aspectos produtivos, geralmente, é desejável obter elevado rendimento gravimétrico em carvão vegetal, devido ao maior aproveitamento da madeira nos fornos de carbonização e, consequentemente, maior produção de energia e menores rendimentos em líquido e em gases não condensáveis, pois esses são subprodutos do processo de pirólise. Dessa forma, o eucalipto destacou-se para ser utilizado na produção desse biocombustível, pois apresentou estatisticamente o maior valor médio de rendimento gravimétrico em carvão vegetal. Os mesmos autores, avaliando clones comerciais de *Eucalyptus* em diferentes locais, encontraram rendimento gravimétrico médio em carvão vegetal de 32%,

inferior ao observado nesse trabalho.

Conforme [6], existe alta correlação entre densidade básica da madeira e a densidade aparente do carvão, ou seja, quanto maior for à densidade da madeira mais denso será o carvão vegetal e maior será a quantidade de energia por unidade de volume desse biocombustível e menores serão os custos relacionados ao transporte tanto da madeira quanto do carvão. Além disso, quanto maior a densidade do carvão maior será a sua resistência mecânica nos altos fornos siderúrgicos. Apesar do destaque para o pinus quanto à densidade relativa aparente, as espécies analisadas não diferiram estatisticamente entre si.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstram que as espécies avaliadas podem ser agrupadas quanto à sua similaridade, devido à densidade relativa aparente. No entanto, observou-se maiores valores de rendimento gravimétrico em carvão vegetal de *Eucalyptus* sp. De modo geral, o rendimento gravimétrico do carvão vegetal produzido com a madeira de ambas espécies atingiu bons resultados, sendo superior no eucalipto quando comparado com o pinus, e isso é um bom indicativo de qualidade da matéria-prima utilizada para a produção de carvão vegetal.

5. REFERÊNCIAS

- [1] INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). Relatório Ibá 2021. 176p. 2021 [citado em 2022 ago. 25]. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2021-compactado.pdf>
- [2] PEREIRA, B. L. C. et al. Influence of chemical composition of *Eucalyptus* wood on gravimetric yield and charcoal properties. *BioResources*, v. 8, n. 3, p. 4574-4592, 2013.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, p. 107. 1997.
- [4] NEVES, T. A.; PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; VIEIRA, C. M. M. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 31, n. 68, p. 319–330, 2011. Doi: 10.4336/2011.pfb.31.68.319
- [5] PROTÁSIO, T. P.; SANTANA, J. D. P.; GUIMARÃES NETO, R. M.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; TRUGILHO, P. F.; RIBEIRO, I. B. Avaliação da qualidade do carvão vegetal de *Qualea parviflora*. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 31, n. 68, p. 295–07, 2011. Doi: 10.4336/2011.pfb.31.68.295
- [6] VALE, A. T.; DIAS, I. S.; SANTANA, M. A. E. Relação entre as propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies do cerrado. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 20, n.1, p. 137- 145, 2010.