



Espécies nativas em florestas plantadas como fonte de matéria-prima para a produção de carvão vegetal

Alfredo José dos Santos Junior¹
Gabriela Aguiar Amorim²
Allana Katiussya Silva Pereira¹
Iara Nobre Carmona¹
Kamilla Crysllayne Alves da Silva¹
Ananias Francisco Dias Júnior²

¹Departamento de Ciências Florestais, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 13418-900, Piracicaba, São Paulo, Brasil (alf.junior12@gmail.com, allana.florestal@gmail.com, iaracarmona@usp.br, kamialves97@gmail.com), ²Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo, 29550-000, Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil (gabriela.a.amorim@hotmail.com, ananiasjuniorr@gmail.com)

RESUMO: *Este trabalho teve por objetivo avaliar a qualidade do carvão vegetal produzido a partir de espécies nativas em florestas plantadas. Foram coletadas amostras de quatro espécies nativas em área de restauração florestal destinadas à Reserva Legal com 12 anos de idade para a produção de carvão vegetal. Determinou-se o rendimento gravimétrico em carvão vegetal, a densidade relativa aparente e a densidade energética. Os dados foram submetidos à ANOVA e, quando houve diferença estatística, ao teste Scott-Knott a 95 % de probabilidade. A espécie *P. parviflora* foi a que mais se destacou para a produção de carvão vegetal, apresentando características similares às espécies que tem melhoramento genético para fins energéticos. Ao final desta pesquisa foi possível subsidiar a tomada de decisão sobre a seleção de espécies nativas oriundas de florestas plantadas para a produção de carvão vegetal com base em suas propriedades tecnológicas*

Palavras-chave: espécies neotropicais, rendimento energético, bioenergia, reserva legal

Introdução

A transição energética de combustíveis fósseis para fontes renováveis de energia é necessária para reduzir as emissões de carbono e proteger o meio ambiente da degradação, diversificando a matriz energética e evitando o colapso (Niu et al., 2023). Vários países estão passando por uma transição energética no mundo, mudando suas matrizes energéticas de combustíveis fósseis e não renováveis para fontes de energia renováveis e mais limpas (Chishti et al., 2023). O uso de carvão vegetal pode melhorar a matriz energética renovável, mas alguns países precisam de políticas específicas para ajudá-los a alcançar o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 7 (Mensah, 2022).

Quando é abordado o tema de geração de energia por meio de biomassa florestal, já existem algumas espécies que são difundidas como comerciais, principalmente dos gêneros *Eucalyptus*, *Corymbia*, *Acacia*, *Pinus* e *Betula*, pois existe muito conhecimento sobre o manejo dessas espécies (Protásio et al., 2021; Loureiro et al., 2021). Porém, a falta de conhecimento técnico sobre a seleção de espécies nativas para a geração de energia é uma barreira para a consolidação de uma matriz



energética de base florestal diversificada (Dias et al., 2021). Em casos específicos, como por exemplo, no Brasil, a Lei N° 12.651, que dispõe sobre a proteção de vegetação nativa, permite produtores explorarem com restrições algumas áreas florestadas para a extração de produtos madeireiros, denominadas “Reserva Legal” (Brasil, 2012; Metzger et al., 2019).

Com a reduzida quantidade de conhecimento sobre as espécies nativas em florestas plantadas para a produção de carvão vegetal, se torna necessária a busca de quais seriam mais apropriadas para esse fim. Nesse sentido, este trabalho teve por objetivo avaliar a qualidade do carvão vegetal produzido a partir de espécies nativas em florestas plantadas.

Material e métodos

Área de estudo e coleta de material

A madeira utilizada neste estudo foi coletada na Estação Experimental de Ciências Florestais de Anhembi da Universidade de São Paulo, em uma área experimental destinada à Reserva Legal, localizada, geograficamente, nas coordenadas 22° 43' 22" S e 48° 10' 32" W, a 455 m de altitude. As árvores apresentavam 12 anos de idade no momento do corte, foram coletados cinco indivíduos de cada uma das seguintes espécies: *Heliocarpus ameciranus* L., *Guazuma ulmifolia* Lam., *Jacaranda cuspidifolia* Mart. e *Poeilantho parviflora* Benth., totalizando 20 indivíduos.

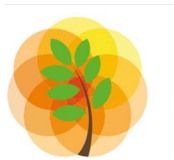
Produção e avaliação do carvão vegetal

A produção de carvão vegetal foi feita em um forno mufla com taxa de aquecimento de 5 °C min⁻¹ até a temperatura máxima de 450 °C, mantendo-se nessa temperatura por 60 minutos, foram utilizadas cinco cunhas de cada espécie. Após o processo de pirólise, a mufla foi desligada e o carvão vegetal permaneceu no reator até atingir temperatura ambiente (30 °C). A densidade relativa aparente do carvão vegetal foi determinada adaptando-se a norma NBR 9165 (ABNT, 1985), pelo método hidrostático, impermeabilizando o material com plástico filme, utilizando-se a Equação 1.

$$DA = \frac{m_0}{v} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que: DA = densidade relativa aparente do carvão vegetal (g cm⁻³); m₀ = massa do carvão vegetal seco em estufa (g); v = volume de água deslocado (cm³).

O poder calorífico superior (PCS) foi determinado em uma bomba calorimétrica adiabática (C200, IKA), conforme a norma E870 (ASTM, 2019). Estimou-se o poder calorífico útil (PCU) a partir da metodologia sugerida na norma EN 14918 (DIN, 2010) assumindo-se um teor de hidrogênio médio de 6 %, por meio da Equação 2. A densidade energética foi determinada por meio da



multiplicação direta entre os valores de densidade básica e poder calorífico útil.

$$PCU = [(PCS - 206 \times H) \times (1 - 0,01 \times U)] - (23,05 \times U) \text{ (Equação 2)}$$

Em que: PCU = poder calorífico útil (kJ kg^{-1}); PCS = poder calorífico superior (kJ kg^{-1}); U = umidade do material em base úmida (%).

Delineamento experimental e análise de dados

Os dados obtidos foram primeiramente submetidos aos testes de normalidade e de homoscedasticidade. Confirmadas essas suposições, realizou-se a análise de variância (ANOVA), seguindo um delineamento inteiramente aleatorizado com cinco repetições para cada variável ensaiada, considerando cada espécie como uma variável resposta. Quando observada diferença significativa, submeteram-se os dados ao teste de comparação de múltiplas médias pelo teste de Scott-Knott a 95 % de probabilidade.

Resultados e discussão

Houve diferença estatística entre os rendimentos gravimétricos em carvão vegetal das espécies analisadas, sendo que *P. parviflora* apresentou o maior valor 33,27 %. Processos de pirólise realizados em condições similares aos utilizados no presente estudo resultam em rendimentos gravimétricos em carvão vegetal variando entre 28 % e 33 % (Protásio et al., 2021). Loureiro et al. Estudando clones de *Corymbia* spp. para uso industrial encontraram rendimentos próximos a 33%, enquanto Protásio et al. (2021) estudando clones de *Eucalyptus* spp. encontraram valores entre 32 % e 35 %. Portanto, as espécies nativas de florestas plantadas apresentam rendimentos gravimétricos em carvão vegetal adequados para a pirólise em parâmetros similares aos processos industriais.

A densidade relativa aparente do carvão vegetal das espécies nativas de florestas plantadas variou entre 0,19 e 0,49 g cm^{-3} . Houve diferença estatística para os valores de densidade aparente do carvão vegetal, sendo que *P. parviflora* apresentou maior desempenho, 0,49 g cm^{-3} . Valores elevados de densidade aparente (maiores que 0,4 g cm^{-3}) são preferíveis, pois permitem maior aproveitamento do volume do equipamento de combustão (Dias Júnior et al., 2020). O aumento da densidade relativa aparente proporciona a diminuição da friabilidade do carvão vegetal, tornando-o mais adequado para os processos de empacotamento, transporte e armazenamento, evitando que o material se degrade (Costa et al., 2017; Dias Júnior et al., 2021). Dessa forma, o carvão vegetal de *P. parviflora* é o que apresenta menor chance de sofrer danos durante o seu manuseio.

Os valores de densidade energética do carvão vegetal variaram entre 1,10 e 2,72 Gcal m^{-3} .



Houve diferença estatística significativa para os valores de densidade energética. A espécie *P. parviflora* apresentou valores próximos aos reportados por Delatorre et al. (2020) estudando finos de carvão vegetal para a geração de energia (2,39 – 2,82 Gcal m⁻³). Valores elevados de densidade energéticas são requeridos para aumentar a eficiência de fornos durante a combustão do carvão vegetal, pois o aumento dessa variável leva à maior disponibilidade de energia por unidade de volume (Protásio et al., 2021).

Conclusões

As madeiras de espécies nativas em florestas plantadas apresentaram potencial para a produção de carvão vegetal. A espécie *P. parviflora* foi a espécie que mais se destacou. Entretanto, o plantio das demais espécies é importante para garantir o processo de restauração florestal. Mesmo compreendendo o potencial das espécies aqui estudadas, se torna necessário o teste de modelos de florestas plantadas que favoreçam a maior implantação dessas espécies com viés energético, como por exemplo, plantio em linhas de espécies de interesse.

Referências bibliográficas

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL - ASTM. Standard Test Methods for Analysis of Wood Fuels. E870, 2019.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL - ASTM. Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal. D1762, 2021c.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Carvão Vegetal - Determinação da densidade relativa aparente, relativa verdadeira e porosidade. NBR 9165, 1985.
- BRASIL. Casa Civil. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Brasília, DF, 2012.
- CHISHTI, M.Z.; SINHA, A.; ZAMAN, U.; SHAHZAD, U. Exploring the dynamic connectedness among energy transition and its drivers: Understanding the moderating role of global geopolitical risk. *Energy Economy*, v. 119, 106570, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106570>
- COSTA, L. J.; TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; SIMETTI, R.; BASTOS, T. A. Caracterização mecânica do carvão vegetal de clones *Corymbia*. *Scientia Forestalis*, v. 45, n. 116, p. 629-639, 2017. <https://doi.org/10.18671/scifor.v45n116.04>
- DELATORRE, F. M.; CUPERTINO, G. F. M.; SANTOS JUNIOR, A. J.; SILVA, A. M.; DIAS JÚNIOR, A. F.; SILVEIRA, M. P. R. Insights acerca do uso de finos de carvão vegetal para geração de bioenergia. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v. 16, n. 2, p. 138-144, 2020.
- DEUTCHES INSTITUT FÜR NORMUNG – DIN. Solid biofuels — Determination of calorific value. EN 14918, 2010.
- DIAS, T. A. C.; LORA, E. E. S.; MAYA, D. M. Y.; OLMO, O. A. Global potential assessment of available land for bioenergy projects in 2050 within food security limits. *Land Use Policy*, v. 105, 104346, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105346>
- DIAS JÚNIOR, A. F.; ANDRADE, C. R.; MILAN, M.; BRITO, J. O.; ANDRADE, A. M.; SOUZA, N. D. Quality function deployment (QFD) reveals appropriate quality of charcoal used in barbecues. *Scientia Agricola*, v. 77, n. 6, e20190021, 2020. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2019-0021>



DIAS JÚNIOR, A. F.; ANDRADE, C. R.; LANA, A. Q.; SILVA, A. M.; BRITO, J. O.; MILAN, M. Tips on the variability of BBQ charcoal characteristics to assist consumers in product choice. *European Journal of Wood and Wood Products*, v. 79, p. 1017-1026, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00107-021-01659-5>

LOUREIRO, B. A.; ASSIS, M. R.; MELO, I. C. N. A.; OLIVEIRA, A. F. F.; TRUGILHO, P. F. Carbonization gravimetric yield and qualitative characterization of charcoal from hybrid corymbia spp clones for industrial use. *Ciência Florestal*, v. 31, n. 1, p. 214–232, 2021. <https://doi.org/10.5902/1980509836120>

MENSAH, J. K. Electricity and informal settlements: Towards achieving SDG 7 in developing countries. *Energy Research & Social Science*, v. 93, 102844, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102844>

METZGER, J. P.; BUSTAMANTE, M. M. C.; FERREIRA, J.; FERNANDES, G. W.; LIBRÁN-EMBED, F.; PILLAR, V. D.; PRIST, P. R.; RODRIGUES, R. R.; VIEIRA, I. C. G.; OVERBECK, G. E. Why Brazil needs its Legal Reserves. *Perspectives in Ecology and Conservation*, v. 17, p. 91-103, 2019.

NIU, X.; DONG, W.; NIU, X.; WASIF ZAFAR, M. The transition to clean energy and the external balance of goods and services as determinants of energy and environmental sustainability. *Gondwana Research*, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.03.003>

PROTÁSIO, T. P.; LIMA, M. D. R.; SCATOLINO, M. V.; SILVA, A. B.; FIGUEIREDO, I. C. R.; HEIN, P. R. G.; TRUGILHO, P. F. Charcoal productivity and quality parameters for reliable classification of Eucalyptus clones from Brazilian energy forests. *Renewable Energy*, v. 164, p. 34-35, 2021a. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.057>

