QUALIDADE DO CARVÃO VEGETAL DA MADEIRA DE EUCALIPTO COM DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES DO TRONCO

Victor Vinicius Sousa Martinelli Sales[1]; Dalton Longue Júnior[2]; José Pedro Brito Santos[3]; João Vitor Morais da Silva[4]; Rafaella Dias Ramos[5]

[1] Engenheiro Florestal, Mestrando do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, *Campus* Vitória da Conquista, BA. E-mail: victorengflorestal@gmail.com
[2] Engenheiro Florestal, Professor no Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, *Campus* Vitória da Conquista, BA. E-mail: dalton@uesb.edu.br
[3] Graduando em Engenharia Florestal, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, *Campus* Vitória da Conquista, BA. E-mail: jps.santos132@gmail.com
[4] Engenheira Florestal, Mestra em Ciências Florestais, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, *Campus* Vitória da Conquista, BA. E-mail: joaomoraisart@gmail.com
[5] Engenheiro Florestal, Mestre em Ciências Florestais, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, *Campus* Vitória da Conquista, BA. E-mail: ra.fadias@hotmail.com

RESUMO

O carvão vegetal é um recurso energético estratégico para fins industriais, impulsionando pesquisas sobre a qualidade do material gerado a partir do gênero *Eucalyptus*. O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade do carvão de eucalipto em diferentes idade e posições no tronco. Foi avaliado o rendimento do processo, a densidade aparente e a composição química imediata do carvão vegetal. O rendimento e a densidade aparente do carvão vegetal aumentaram com o aumento da idade das árvores. A composição química imediata manteve-se estável entre as idades e a posição da madeira na árvore. Conclui-se que a idade e a densidade básica da madeira influenciam mais significativamente as propriedades do carvão.

Palavras-chave: Rendimento; Densidade aparente; Composição química imediata.

1. INTRODUÇÃO

A indústria metalúrgica responde por cerca de 23% das emissões globais de CO_2 (SAFARIAN, 2023), e por isso o uso do carvão vegetal destaca-se na descarbonização do setor, embora enfrente desafios quanto ao fornecimento de materiais genéticos de alta qualidade para a metalurgia (MASSUQUE et al., 2023). Por esse motivo, o Brasil se tornou o maior produtor mundial de carvão com 6,6

milhões de toneladas em 2024, sendo o único país a utilizá-lo na produção de aço e ferro-gusa no conceito de siderurgia sustentável (SILVA et al., 2024; IBÁ, 2025).

Essa produção provém predominantemente de florestas plantadas de *Eucalyptus*, gênero caracterizado pelo rápido crescimento, adaptabilidade edafoclimática e ciclo curto de corte de podem variar de 5 a 7 anos (LEME et al., 2021). Além do papel energético, o carvão de biomassa atua na fixação sólida de carbono e atenua a pressão sobre florestas nativas (OLIVEIRA et al., 2023; CARNEIRO et al., 2024).

A densidade básica da madeira é comumente definida como principal indicador de qualidade por relacionar-se diretamente à densidade aparente do carvão (RAMOS et al., 2024). Consequentemente, variações na posição do tronco (base, meio e topo) podem alterar as propriedades do carvão devido a mudanças na composição anatômica da madeira (MENGISTU et al., 2025).

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência das idades das árvores (3 e 7 anos) e da posição no tronco (base, meio e topo) sobre o rendimento gravimétrico, a densidade aparente e a composição química imediata do carvão vegetal produzido a partir de clones comerciais de eucalipto.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A madeira utilizada nesse estudo foi oriunda de plantio comercial localizado no município de Entre Rios, região nordeste da Bahia. As amostras foram separadas nas posições base, meio e topo e encaminhadas ao Laboratório de Tecnologia de Produtos Florestais da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) para a realização das carbonizações e da avaliação da qualidade da madeira.

2.2 Carbonização

As carbonizações foram realizadas em forno mufla elétrico, utilizando 400 g de madeira acondicionados em cilindro metálico. A taxa de aquecimento foi de 1,67 °C/min (100 °C/h) a partir de 150 °C até 450 °C, mantida por 30 min nesta temperatura, totalizando um tempo de 4 h.

O rendimento gravimétrico foi calculado pela razão percentual entre as massas de carvão e madeira seca. A densidade aparente foi obtida pelo método da balança

hidrostática (imersão em água), dividindo-se a massa seca (103 ± 2 °C) pelo volume aparente (adaptado da ABNT NBR 11941:2003). A composição química imediata (materiais voláteis, cinzas e carbono fixo) seguiu a ABNT NBR 8112 (1986).

2.2 Delineamento experimental e análise estatística

O experimento seguiu um delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 5 repetições (árvores) por tratamento. A influência da idade (3 e 7 anos) e da posição no tronco (base, meio e topo) na qualidade do carvão foi avaliada por análise de variância (ANOVA), utilizando o teste de Tukey a 95% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Efeito da idade sobre as propriedades do carvão vegetal

A caracterização física e química do carvão de eucalipto apresentou variação significativa com a idade. O rendimento gravimétrico aumentou de 32,6% (3 anos) para 36,0% (7 anos), conforme FIGURA 1A, reflexo de variações químicas na madeira, sobretudo no teor de lignina (química) e na densidade (física), que afetam o rendimento da carbonização (GOUVÊA et al., 2015).

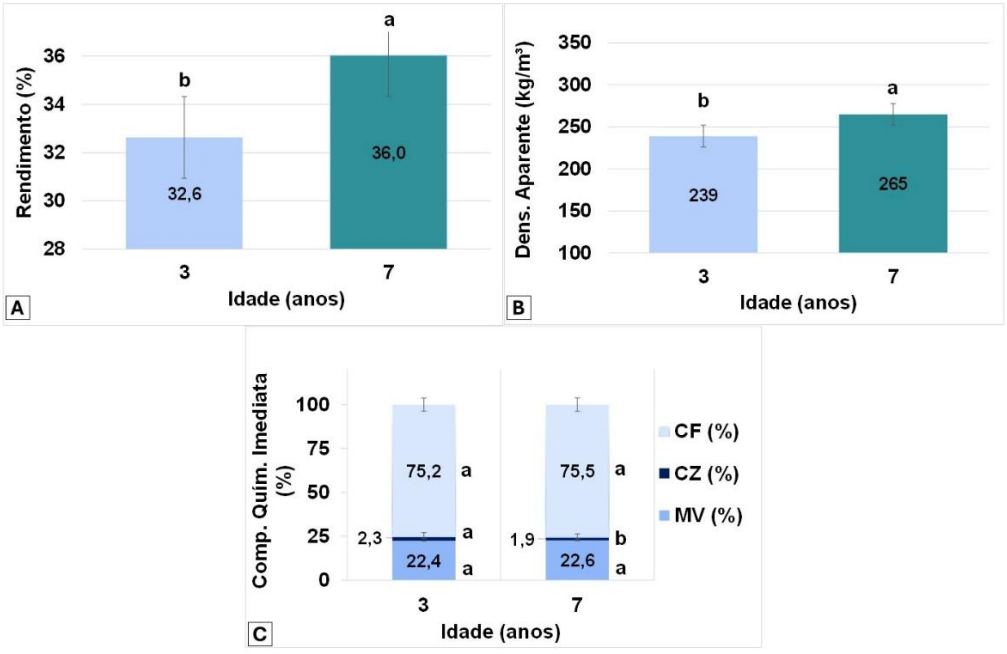


FIGURA 1 – Resultado do processo de carbonização da madeira de *Eucalyptus*: (A) rendimento gravimétrico, (B) densidade aparente e (C) composição química imediata.

Letras minúsculas idênticas indicam igualdade estatística entre idades pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade (p≤0,05).

A densidade aparente do carvão aumentou com a idade, passando de 239 kg/m³ (3 anos) para 265 kg/m³ (7 anos), conforme FIGURA 1B, acompanhando o incremento da densidade básica da madeira, conforme descrito por Ramos et al. (2024). Por fim, a idade da madeira não afetou significativamente a composição química imediata do carvão vegetal (teor de carbono fixo e materiais voláteis), apresentando diferença significativa apenas para o teor de cinzas, maior no carvão proveniente da madeira mais jovem (FIGURA 1C).

A análise por posição no tronco não revelou diferenças estatísticas significativas para as idades de 3 e 7 anos, apresentando teor de carbono fixo (75,2–75,5%) conforme FIGURA 2A, teor de materiais voláteis (22,4–22,6%) conforme FIGURA 2B e teor de cinzas (1,9–2,3%), conforme FIGURA 2C.

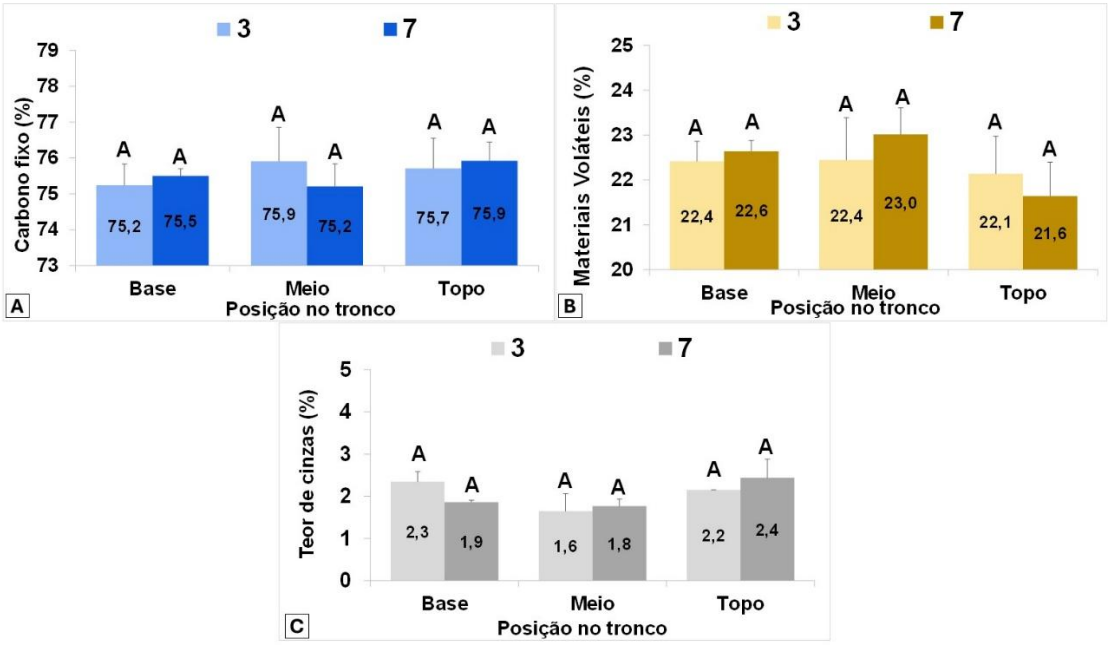


FIGURA 2 – Análise química imediata nas diferentes posições e diferentes idades
Letras maiúsculas idênticas indicam igualdade estatística entre posições no tronco pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade (p≤0,05).

4. CONCLUSÃO

A idade da árvore influenciou o rendimento e a densidade aparente do carvão, não interferindo na sua composição química imediata, que também não foi alterada pela posição no tronco. Os achados destacam a densidade aparente como indicador-chave de qualidade, útil para subsidiar a seleção genética de *Eucalyptus* e definir a idade ideal de rotação para fins energéticos e siderúrgicos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

CARNEIRO, A. C. O.; CARDOSO, M. T.; ZANUNCIO, A. J. V.; PEREIRA, E. G.; CARVALHO, A. M. M. L.; MARTINS, M. A.; GUIMARÃES, D. P. S.; EVANGELISTA, E. L. C.; CASTRO, V. R.; CARVALHO, A. G.; ARAUJO, S. O. Carbonization gases as an energy source for *Eucalipto* logs drying of different diameter classes in metallic dryer. **Revista Árvore**, v. 48, e4830, 2024.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório IBÁ 2025**: ano base 2024. Brasília, 2025, 120p. Disponível em: https://iba.org/wp-content/uploads/2025/10/IBA_relatorio_digital_POR.pdf. Acesso em: 20 jul. 2026.

LEME, M. M. V.; VENTURINI, O. J.; LORA, E. E. S.; ALMEIDA, W.; ROCHA, M. H.; DIAS, T. A. C.; OLMO, O. A. Avaliação do ciclo de vida da produção de carvão vegetal e geração de eletricidade a partir de eucalipto em um forno industrial de lotes. **Renewable Energy**. v. 180, p. 232-244, 2021.

MASSUQUE, J.; LIMA, M. D. R.; SILVA, P. H. M. da; PROTÁSIO, T. de P.; TRUGILHO, P. F. Potential of charcoal from non-commercial *Corymbia* and *Eucalyptus* wood for use in the steel industry. **Renewable Energy**, v. 209, p. 302–311, 2023.

MENGISTU, M.; RAWAT, Y. S.; TEKLEYOHANNES, A. T.; ASFAW, S. F. Variation in the quality of charcoal from *Acacia decurrens* (J.C. Wendl.) Willd. with age and longitudinal stem portions. **Trees, Forests and People**, v. 19, 100790, 2025.

OLIVEIRA, L. P. de; CARNEIRO, A. de C. O.; PERES, L. C.; DEMUNER, I. F.; FERREIRA, S. O.; FERNANDES, S. A.; JORGE, F. de J. Wood and charcoal quality in the selection of *Eucalipto* spp. clones and *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora* for steel industry. **Revista Árvore**, v. 47, e4722, 2023.

RAMOS, R. D.; LONGUE JÚNIOR, D.; PEREIRA, G. S.; SILVA, J. V. M. da; VALLE, M. L. A.; DIAS JÚNIOR, A. F. Influência da densidade básica e da composição química da madeira para o processo de carbonização. **Ciência Florestal**, v. 34, n. 4, e87722, 2024.

SAFARIAN, S. To what extent could biochar replace coal and coke in steel industries? **Fuel**, v. 339, 127401, 2023.

SILVA, L. F. da; ARANTES, M. D. C.; MARCELINO, R. A. G.; CASTRO, A. F. N. M.; ATAÍDE, G. da M.; CASTRO, R. V. O.; VIEIRA, R. da S.; CARNEIRO, A. de C. O.; SIQUEIRA, H. F. de; PROTÁSIO, T. de P.; BARAÚNA, E. E. P.; BALDIN, T.; COLEN, F. Kiln-Furnace System: Validation of a Technology for Producing Charcoal with Less Environmental Impact in Brazil. **Forests**, v. 15, n. 4, 645, 2024.