

Balanço de massa da produção de carvão vegetal de *madeira de híbridos de Corymbia* proveniente de diferentes espaçamentos

Isabella Santana Sampaio¹; Angélica de Cássia Oliveira Carneiro¹; Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho¹; Fernanda de Jesus Jorge¹; Marlúcio Mateus Silva¹; Gustavo Mattos Abreu¹

¹ Universidade Federal de Viçosa (UFV)

Resumo: O Brasil é destaque no setor de florestas plantadas. O uso de carvão vegetal no setor industrial siderúrgico nos últimos anos apresenta grande crescimento, devido principalmente à sustentabilidade de todo o processo de transformação da madeira em biorredutor. Entretanto, diferentes fatores podem afetar a qualidade e a quantidade do carvão vegetal, como por exemplo a influência do espaçamento entre árvores, os fatores genéticos, entre outros. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do espaçamento do plantio no rendimento gravimétrico do carvão vegetal de dois híbridos de *Corymbia citriodora* (Hook) K.D. Hill & L.A.S Johson e *Corymbia torelliana* (F. Muell) K.D. Hill & L.A.S. Johson. O clone C1 plantado no espaçamento 3 x 3 m obteve maiores rendimentos gravimétricos em carvão vegetal, ao passo que o rendimento em gases condensáveis e não condensáveis não foram influenciados pelos fatores testados.

Palavras-chave: Rendimento gravimétrico, biorredutor, carbonização.

Mass balance of charcoal production from wood of *Corymbia* hybrids originating from different spacings.

Abstract: Brazil stands out as the leading country in the planted forests sector. The use of charcoal in the steel industry has shown significant growth in recent years, primarily due to the sustainability of the entire wood-to-bioreducer transformation process. However, various factors can affect the quality and quantity of charcoal, such as the influence of spacing between clones, genetic factors, among others. This study aimed to evaluate the effect of planting spacing on the gravimetric yield of charcoal from two hybrids of *Corymbia citriodora* (Hook) K.D. Hill & L.A.S Johson and *Corymbia torelliana* (F. Muell) K.D. Hill & L.A.S. Johson. Clone C1 and a spacing of 3 x 3 m achieved the highest gravimetric charcoal yields, while the yield in condensable and non-condensable gases from charcoal was not influenced by the tested factors..

Keywords: Gravimetric yield, bioreducer, carbonization.

1. INTRODUÇÃO

Referência mundial do setor de florestas plantas, o Brasil se destaca devido o seu crescimento sustentável, competência e investimentos em inovações no setor florestal. Atualmente, são aproximadamente 9,94 milhões de hectares plantados cuja finalidade é o setor industrial, seja como matéria prima para uma diversidade de

produtos madeireiros ou também como subprodutos. Dentre as diversas aplicações e usos de florestas plantadas, pode-se citar, por exemplo, painéis de madeira, carvão vegetal, laminados e mais de cinco mil subprodutos como o setor de celulose e papel (Ibá, 2023).

Entre os produtos citados anteriormente, o carvão vegetal vem ganhando cada vez mais espaço no setor siderúrgico, substituindo cada vez mais a utilização do carvão mineral, trazendo maior sustentabilidade para os processos. Entretanto, para que sua utilização seja contínua, é necessário que o mesmo possua características desejáveis para que atenda às necessidades dos alto-fornos, não afetando negativamente a produtividade dos mesmos (Castro, 2011).

No setor de biocombustíveis renováveis, o Brasil se destaca mundialmente, produzindo cerca de 12% de toda a produção mundial (Fao, 2022). No país, a principal utilização do carvão vegetal é nas atividades relacionadas a indústria siderúrgica pois esse bioproduto apresenta características redutoras e combustíveis, renovável, além de ser subproduto com produção mais limpa, visto que é proveniente de florestas plantadas (Protásio et al., 2021; Loureiro et al., 2021).

Dentre as espécies mais utilizadas na produção de biomassa florestal, as que mais se destacam são as que pertencem aos gêneros *Corymbia* e *Eucalyptus*. As espécies pertencentes a esses gêneros apresentam características importantes como tolerância a estresses ambientais, além de apresentarem o crescimento acelerado e possibilitarem o cultivo em espaçamentos de plantio adensados (Assis, 2015; Lopes et al., 2017).

Os híbridos resultantes dos cruzamentos dos genótipos *Corymbia torelliana* e *Corymbia citriodora* apresentam alta produção de madeira quando comparados a outras espécies e se destacam em relação não apenas a densidade básica da madeira, mas também no aspecto de produção de carvão vegetal (Loureiro et al., 2019; Reis et al., 2014). Existem muitos fatores que afetam a produção florestal, com destaque ao espaçamento no que pode afetar não apenas nos custos da produção, mas a forma de conduzir as florestas plantadas.

Diante o exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do espaçamento do plantio no balanço de massa da produção de carvão vegetal de dois híbridos de *Corymbia citriodora* (Hook) K.D. Hill & L.A.S Johson e *Corymbia torelliana* (F. Muell) K.D. Hill & L.A.S. Johson.



2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 *Espaçamento*

Ambos os materiais genéticos foram plantados dentro dos seguintes espaçamentos: 3 m x 2 m (1666 plantas. ha⁻¹), 3 m x 3 m (1111 plantas. ha⁻¹), 6 m x 1,5 m (1111 plantas. ha⁻¹) e 6 m x 1,25 m (1333 plantas. ha⁻¹). Os clones, com idade aproximada de 7 anos, foram cultivados nos quatro espaçamentos informados anteriormente e em três parcelas localizadas dentro de um mesmo talhão. Além disso, cada parcela apresentava uma área útil de 10 árvores, sem contar as linhas e plantas de borda.

Outrossim, nas árvores selecionadas das parcelas foram medidas o diâmetro na altura do peito (DAP) em cada tipo de tratamento, variando +/-10 % do DAP médio da parcela, totalizando uma amostragem e 48 árvores.

2.2 *Preparo de amostras*

Em cada árvore selecionada foram retirados dois discos com aproximadamente 3 cm de espessura. Os discos foram retirados a 0 %, DAP, 25 %, 50 %, 75 % e 100 % da altura comercial, sendo retirados 12 discos de cada árvore, os quais foram secionados em dimensões finais de 2x2x3 cm, homogeneizados e utilizados para as carbonizações da madeira.

2.3 *Carbonização da madeira*

Antes das carbonizações, as amostras de madeira foram secas em uma estufa a 103 +/- 105 °C até massa constante. As carbonizações por meio de um “forno elétrico mufla” (Figura 1).

Cada amostra de madeira foi posicionada em um recipiente metálico que apresenta as dimensões de 0,12 m de diâmetro, 0,3 m de comprimento e volume de 0,003 m³. A carbonização iniciou em temperatura de 150 °C, sendo a temperatura final de 450 °C, sendo mantida uma temperatura estável por 60 minutos. Para que o processo fosse completo, foram necessárias 7,5 h de carbonização.

Para calcular o rendimento gravimétrico em gases condensáveis foi utilizado um condensador tubular acoplado à porta da mufla.

Após finalizar o processo da carbonização, os gases condensáveis e não condensáveis e os rendimentos gravimétricos foram obtidos por meio do cálculo de base na massa da madeira seca, tendo o balanço de massa do processo de pirólise.

2.4 **Análise estatística**

O experimento consistiu em delineamento inteiramente casualizado com esquema fatorial 2x4, sendo os fatores clones (2) e espaçamentos/arranjo de plantio (4), totalizando oito tratamentos. As análises de estimativa foram realizadas com três repetições, totalizando 24 unidades amostrais.

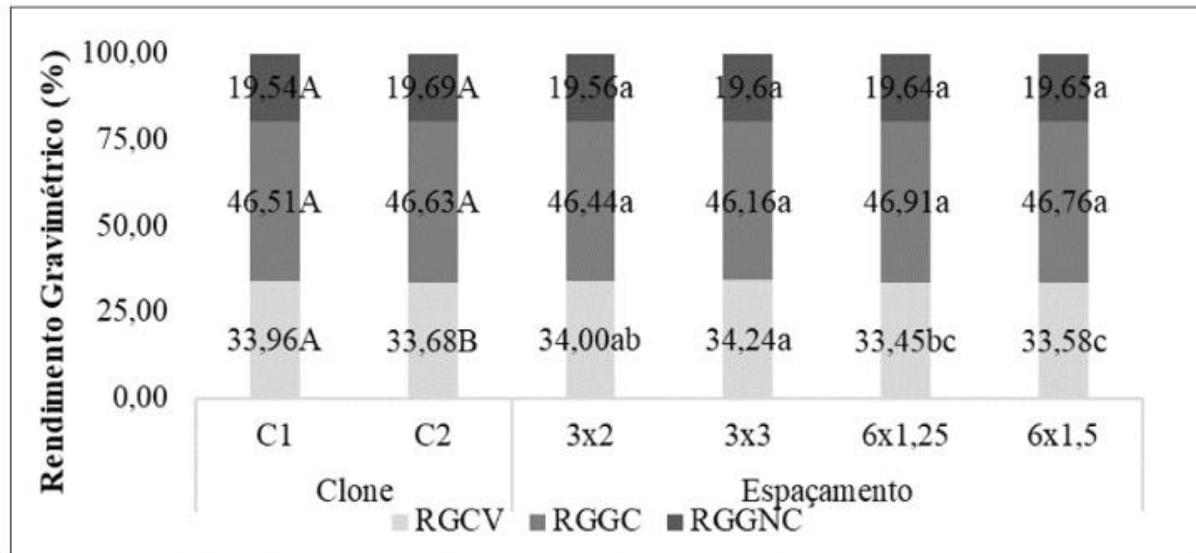
Os dados foram submetidos aos testes de Lilliefors e Cochran para avaliar a normalidade e homogeneidade de variância, respectivamente. Atendendo aos pressupostos, foram submetidos à análise de variância (ANOVA) para verificar a interação entre os fatores. Quando estabelecida significância, os fatores foram desdobrados nos diferentes níveis. Caso não houvesse interação, os fatores foram analisados separadamente. Foi aplicado o teste de média Tukey a 95% de probabilidade. As análises foram realizadas no software de acesso livre R.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 **Balanço de massa no processo de carbonização**

Não foi observada efeito da interação espaçamento de plantio e material genético no balanço de massa do processo de carbonização. Os valores médios de rendimento gravimétrico em carvão vegetal, gases condensáveis e não condensáveis se encontram na Figura 1.

Figura 1. Balanço de massa dos produtos da pirólise em função dos tratamentos



RGCV = Rendimento gravimétrico em carvão vegetal; RGGC = Rendimento gravimétrico em gases condensáveis; RGGNC = Rendimento gravimétrico em gases não condensáveis. As médias acompanham letras diferentes, com letras minúsculas entre os espaçamentos e maiúsculas entre os clones, isso indica diferenças significativas entre elas a um nível de significância de 5%, de acordo com o teste Tukey. C1= *Corymbia citriodora*; C2= *Corymbia torelliana*.

O coeficiente de variação entre as amostras deste trabalho foi menor que o valor obtido por Azevedo (2021) de 4,7%. Além disso, o autor não conseguiu avaliar impactos significativos dos clones de *Eucalyptus* em plantios de diferentes espaçamentos na região de Pernambuco.

A diferença identificada entre as médias dos clones e os espaçamentos pode ser vista como modesta em comparação com as variações reportadas em estudos anteriores (Loureiro et al., 2021; Protásio et al., 2021; Reis et al., 2012). Em relação aos espaçamentos, observou-se que 3mx3m obteve um maior rendimento em massa de carvão vegetal produzido em relação aos demais. O carvão vegetal produzido utilizando o clone C2 apresentou menor rendimento gravimétrico em comparação com o carvão vegetal produzido com o clone C1.

No que se refere ao carvão vegetal deve-se levar em consideração as propriedades químicas, físicas, mecânicas e anatômicas da madeira, pois essas influenciam tanto na qualidade quanto na produtividade do mesmo. Por isso, o resultado obtido pode ser explicado devido a cristalinidade da celulose, a relação S/G, a espessura da parede celular e a umidade, pois esses são fatores determinantes no resultado qualitativo da produção do carvão vegetal para uso siderúrgico ou doméstico (Protásio, 2016). Além disso, espera-se que o aumento do teor de lignina da madeira



e com uma menor relação S/G ocorra um aumento do rendimento gravimétrico do carvão vegetal por causa das características químicas e estruturais (Santos, 2011).

Protásio et al. (2021) ao analisarem 14 materiais genéticos distintos de *Eucalyptus* spp. cuja idade aproximada era 81 meses, verificaram que a influência do material genético nos rendimentos gravimétricos e nos gases condensáveis e não condensáveis eram mínimas. Além disso, Rocha et al. (2017) ao avaliarem dois clones híbridos de *Eucalyptus* spp. com idade de sete anos, plantados com espaçamentos 3x05m; 3x1m; 3x1,5m; 3x2m e 3x3m, observaram que não houve diferença estatisticamente significativa no rendimento gravimétrico do carvão e nos rendimentos dos gases condensáveis e não condensáveis. Contudo, concluíram que os diferentes espaçamentos analisados não impactaram no rendimento do carvão vegetal.

Loureiro et al (2021a), ao avaliarem seis clones híbridos diferentes de *Corymbia* spp. plantados com espaçamento de 3x2,5m, observaram que o rendimento gravimétrico médio em carvão vegetal (RGC) foi de 33,17%, em gases condensáveis (RLP) de 44,37% e em gases não condensáveis (RGNC) de 22,46%. Em contrapartida a esse estudo, os pesquisadores não encontraram diferença significativa entre os clones avaliados no RGC, porém, verificaram diferenças significativas para os RGNC e RLP dos seis materiais genéticos avaliados durante o estudo.

4. CONCLUSÃO

O clone C1 obteve maior rendimento gravimétrico de carvão vegetal, ao passo que o rendimento gravimétrico de gases condensáveis e não condensáveis não foram influenciados pelo material genético.

O espaçamento quadrado (3m x 3m) proporcionou maior rendimento gravimétrico de carvão vegetal quando comparado aos espaçamentos mais retangulares (6m x 1,25m e 6m x 1,5m). O rendimento gravimétrico de gases condensáveis e não condensáveis não foram influenciados pelo espaçamento do plantio.

5. AGRADECIMENTOS

Ao conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), à Universidade



Federal de Viçosa (UFV), ao Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM), à Sociedade de Investigações Florestais (SIF), à EMBRAPII Fibras Florestais e à empresa Aperam Bioenergia.

6. REFERÊNCIAS

ASSIS, M. R.; PROTÁSIO, T. P.; ASSIS, C. O.; *et al.* Qualidade e rendimento do carvão vegetal de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Pesquisa florestal brasileira**, v. 32, n. 71, p. 291-302, 2012.

AZEVEDO, S. R. V. **Caracterização da madeira e do carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes espaçamentos no Sertão pernambucano**. 2021. 82 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

BERGER, R.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. *et al.* Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, v. 12, p. 75-87, 2002.

BOAS, M. V.; CARNEIRO, A. D. C.; VITAL, B. R. *et al.* Effect of carbonization temperature and the macaúba residues in the production of charcoal. **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 87, p. 481-490, 2010.

CASTRO, A. F. N. M. **Efeito da idade e de materiais genéticos de *Eucalyptus* sp. na madeira e carvão vegetal**. 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. **Forestry Production and Trade**. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO/visualize>. Acesso em: 15, abr, 2024.

GOMES, G. S. L. **Efeito do espaçamento na produção de madeira e qualidade do carvão vegetal, em pequena propriedade**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2020.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; LACLAU, J. P. *et al.* Silvicultural effects on the productivity and wood quality of eucalypt plantations. **Forest ecology and management**, v. 193, n. 1-2, p. 45-61, 2004.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório anual IBÁ 2023**. São Paulo: IBÁ, 2023. 91 p.

LOPES, E. D.; GONÇALVES, J. F.; MARQUES, A. *et al.* Physical and chemical properties of wood from *Eucalyptus* and *Corymbia* clones in different planting densities. **Ciência Florestal**, 33 (2), e64965, 2023.



LOUREIRO, B. A.; ASSIS, M. R.; MELO, I. C. N. A. et al. Rendimento gravimétrico da carbonização e caracterização qualitativa do carvão vegetal em clones de híbridos de *Corymbia spp* para uso industrial. **Ciência Florestal**, v. 31, p. 214-232, 2021.

LOUREIRO, B. A.; VIEIRA, T. A. S.; COSTA, L. J. et al. Selection of superior clones of *Corymbia* hybrids based on wood and charcoal properties. **Maderas: Ciencia y Tecnología**, v. 21, n. 4, p. 619–630, 2019.

MOUTINHO, V. H. P. et al. Characterization and statistical correlation between charcoal's physical and mechanical properties of *Eucalyptus* and *Corymbia* clones. **Ciência Florestal**, v. 27, p. 1095-1103, 2017.

NEVES, T. A.; PROTÁSSIO, T. P.; COUTO, A. M. et al. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa florestal brasileira**, v. 31, n. 68, p. 319-330, 2011.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and earth system sciences**, v. 11, n. 5, p. 1633-1644, 2007.

PROTÁSIO, T. P.; LIMA, M. D. R.; SCATOLINO, M. V. et al. Charcoal productivity and quality parameters for reliable classification of *Eucalyptus* clones from Brazilian energy forests. **Renewable Energy**, v. 164, p. 34-45, 2021.

PROTÁSIO, Thiago de Paula et al. **Características de crescimento, madeira e carvão para classificação de clones de Eucalyptus spp. visando o uso energético**. 2016. Tese de Doutorado. UFLA.

PROTÁSSIO, T. P.; BUFALINO, L.; TONOLI, G. H. D. et al. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. **Pesquisa florestal brasileira**, v. 31 n. 66, p. 113-122, 2011.

REIS, C. A. F.; ASSIS, T. F.; SANTOS, A. M. et al. *Corymbia torelliana*: estado da arte de pesquisas no Brasil. **Embrapa Florestas-Documentos (INFOTECA-E)**, 2014. 47 p.

SANTOS, R. C et al. Effect of properties chemical and siringil/guaiacil relation wood clones of eucalyptus in the production of charcoal. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 657-669, 2016.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, D. A. Influência da temperatura final de carbonização nas características físicas e químicas do carvão vegetal de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). **Scientia Agraria**, v. 2, n. 1, 2001.

VITAL, B. R.; ANDRADE, A. D.; VALENTE, O. F. et al. Influência da casca no rendimento e na qualidade do carvão vegetal de *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, v. 41, n. 42, p. 44-9, 1989.