


## AVALIAÇÃO DE CLONES DO EUCALYPTUS UROPHYLLA X EUCALYPTUS GRANDIS PLANTADOS NO TOCANTINS, VISANDO A QUALIDADE PARA USO ENERGÉTICO

 <https://doi.org/10.56238/arev7n1-019>

Data de submissão: 02/12/2024

Data de publicação: 02/01/2025

### **Felício Antônio Duarte**

Mestre em Agroenergia  
Instituto Natureza do Tocantins - Naturatins  
E-mail: felicioduarte@gmail.com  
LATTES: <http://lattes.cnpq.br/5082239554456042>

### **Paulo Fernando Trugilho**

Doutor em Ciência Florestal  
Universidade Federal de Lavras - UFLA  
E-mail: trugilho@ufla.br  
LATTES: <http://lattes.cnpq.br/1868749920342205>

### **Erich Collicchio**

Doutor em Ecologia Aplicada  
PPG em Agroenergia Digital  
Universidade Federal do Tocantins - UFT  
E-mail: collicchio.e@gmail.com  
LATTES: <http://lattes.cnpq.br/0722996667111812>

### **Lucas Carneiro Maciel**

Mestrando em Agroenergia Digital  
Universidade Federal do Tocantins - UFT  
E-mail: lucasmaciel@uft.edu.br  
LATTES: <http://lattes.cnpq.br/8448219196546694>

### **RESUMO**

A matriz energética mundial tem sido questionada, pois as mudanças climáticas, as tendências de declínio das reservas de petróleo, bem como a instabilidade política nas regiões produtoras tem levado o mundo a refletir sobre a necessidade de mudanças importantes em suas fontes. A madeira de florestas plantadas se apresenta como uma das soluções de fonte renovável de energia. O objetivo deste trabalho é identificar dentre os cinco clones do híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* plantados no Tocantins, aqueles que produzem qualidade satisfatória para uso energético. O experimento foi realizado segundo o delineamento inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e quatro repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando estabelecidas diferenças entre eles, aplicou-se o teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Os resultados confirmaram que os cinco clones possuem características físicas e energéticas adequadas para o aumento da qualidade energética. No entanto, os clones 2 e 3 se destacaram por apresentar os melhores desempenhos nas avaliações realizadas.

**Palavras-chave:** Bioenergia. Biomassa. Clone. Densidade Energética.

## 1 INTRODUÇÃO

A matriz energética global ainda é predominantemente composta pela queima de combustíveis fósseis, que representa cerca de 80% da oferta total de energia, destacando-se o petróleo, o carvão mineral e o gás natural (IEA, 2024). No entanto, essa dependência gera preocupações significativas, como a poluição que contribui para as mudanças climáticas, o declínio das reservas de petróleo e a instabilidade política nas regiões produtoras desses recursos. Diante disso, há uma crescente necessidade de uma mudança na matriz energética mundial, com o aumento da participação de fontes renováveis e limpas (DUARTE; COLLICCHIO, 2020).

Ao contrário do cenário global, o Brasil se destaca pela predominância de fontes renováveis em sua matriz energética, que representam 40,5% do total, com a agroenergia respondendo por 27,1% dessa participação (MME, 2022), colocando o país entre os líderes do setor (IEA, 2024). O uso de produtos derivados de florestas plantadas, como as do gênero *Eucalyptus* spp., é uma estratégia importante para reduzir a dependência de matérias-primas fósseis.

O material genético do *Eucalyptus* spp. têm sido utilizado tanto na produção de carvão vegetal para a indústria siderúrgica quanto na geração de energia por meio da biomassa, oferecendo alternativas ao carvão mineral e ao óleo combustível (MAGALHÃES et al., 2017; SCANAVACA JÚNIOR; GARCIA, 2023).

As florestas plantadas têm diversas finalidades, sendo o uso energético uma das principais. Essas florestas são planejadas para maximizar a produção de biomassa por área e em um curto período de tempo, o que requer o plantio de um grande número de árvores por hectare e ciclos de crescimento curtos (IEE/USP, 2019). O *Eucalyptus* spp. são espécies muito utilizadas nesse tipo de plantio, com uma grande diversidade, possuindo mais de 700 espécies adaptáveis a diferentes tipos de clima e solo (PINTO JÚNIOR; SANTAROSA; GOULART, 2014; THORNHILL et al., 2019).

No Brasil, o reflorestamento tem sido uma estratégia eficaz para atender à demanda mundial por madeira, sendo relevante tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico, pois contribui para o combate ao desmatamento e reduz a utilização de madeira proveniente de florestas nativas. O desenvolvimento de tecnologias, gestão e manejo da produção florestal é fundamental para aprimorar a cadeia produtiva (ASSIS et al., 2009).

O plantio de florestas com espécies de crescimento rápido, como *Pinus* spp. e *Eucalyptus* spp., experimentou uma significativa expansão no Brasil a partir da década de 1960, especialmente com os incentivos fiscais vigentes de 1966 a 1988 (KENGEN, 2001). A partir dessa época, foram realizados trabalhos científicos sistemáticos para selecionar clones de *Eucalyptus* spp. mais adequados ao ambiente e à exploração industrial (LIMA-TOIVANEN, 2013).

Em 2023, a área plantada com *Eucalyptus* spp. no Brasil foi de 7,55 milhões de hectares (IBGE, 2024), e o país é líder mundial na produção de carvão vegetal, com 12% do mercado global (FAO, 2024), sendo o principal fornecedor para as siderúrgicas produtoras de ferro gusa (IBA, 2024).

O Tocantins, por sua vez, viu uma grande expansão do plantio de eucalipto entre 2010 e 2017, principalmente devido à produção de carvão vegetal voltada para os setores siderúrgico do Pará e Maranhão, além da instalação de uma indústria de celulose em Imperatriz, no Maranhão, em 2013. Contudo, a partir de 2017, observou-se um declínio na área plantada no estado. Em 2023, o Tocantins ocupava a 14ª posição entre os estados com maior área de floresta plantada com *Eucalyptus* spp. no Brasil (IBGE, 2024).

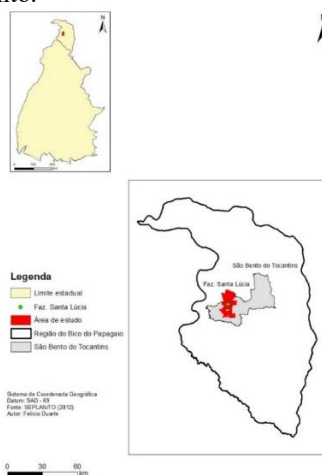
Os estados com maior consumo de carvão vegetal no Brasil são: Minas Gerais, Maranhão, Pará e Mato Grosso do Sul, e, por isso, grande parte das pesquisas sobre produção de carvão vegetal de qualidade energética foi desenvolvida nesses estados, deixando o Tocantins carente de informações relevantes sobre o tema.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo, avaliar a qualidade energética da madeira de cinco clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, plantados em São Bento do Tocantins - TO.

## 2 METODOLOGIA

A área experimental do presente estudo, encontra-se localizada na Fazenda Santa Lúcia de propriedade da empresa Sinobras Florestal, nas coordenadas geográficas, 06°01'13" Sul e 47°54'08" Oeste, no município de São Bento do Tocantins, na região norte do Estado do Tocantins, conhecida como região do Bico do Papagaio (Figura 1).

Figura 1 – Localização da região do Bico do Papagaio, do município de São Bento do Tocantins e da Fazenda Santa Lúcia, onde encontra-se situada a área do experimento.



Fonte: Elaborado pelos autores

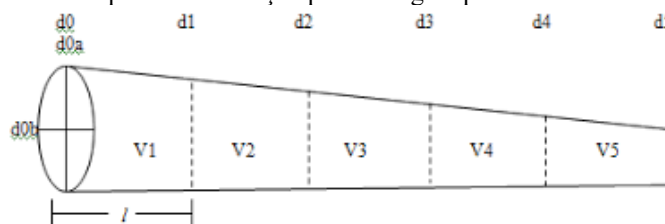
A região onde está situada a área experimental, apresenta o clima é Aw segundo a classificação de Köppen, considerado como clima de savana, apresentando uma estação seca no inverno, onde o mês mais seco possui precipitação inferior a 60 mm e equivale a mesmo de 4% da precipitação anual total. O tipo de solo predominante são os Neossolos Quartzarênicos, sendo que na região a altitude média é de 230 metros, sendo que a temperatura média anual é de de 26.1 °C e a pluviosidade média anual corresponde a 1.597 mm. (SEPLAN, 2017; COLLICCHIO et al., 2022).

A área experimental foi composta por cinco clones de *Eucalyptus*, híbridos de *E. urophylla* x *E. grandis* provenientes de plantio para fins comercial, implantados no espaçamento de 3,5 x 2,85 metros, correspondendo a uma população de 1.002 árvores/hectare com 14 anos de idade. Os clones selecionados correspondem aos mais produtivos da área, levando-se em consideração o inventário florestal realizado periodicamente.

Foram selecionadas casualmente quatro árvores por clone avaliado, totalizando 20 árvores amostradas. As árvores selecionadas foram as mais representativas (sanidade, DAP, altura do dossel), além disso, evitou-se escolher as árvores próximas à bordadura. As árvores foram derrubadas com o auxílio de um motosserra a uma altura de 0,10m do solo

A cubagem das árvores de eucalipto foi realizada utilizando o método de Smalian, como ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Esquema de medição para cubagem pelo método de Smalian



Fonte: Adaptado de Machado; Figueiredo Filho (2009)

A altura total das árvores foi medida individualmente com uma fita métrica, sendo definida como a distância da base do solo até o ápice. Os diâmetros foram determinados sem casca em seções ao longo do tronco, começando em 0,10 m e seguindo em intervalos de dois metros, incluindo medições a 1,30 m, 2,10 m, 4,10 m e assim por diante, até a altura comercial final, que foi estabelecida como o ponto onde o tronco atingiu um diâmetro com casca de 7 cm, conforme a convenção da empresa.

Para o cálculo do volume total de cada árvore, foram considerados os volumes individuais de cada seção ao longo do tronco. O volume de uma seção foi estimado pela média das áreas transversais

sem casca da base e do topo, multiplicada pelo comprimento da seção. O somatório dos volumes de todas as seções resultou no volume total sem casca da árvore.

Discos de madeira com espessura de 2,5 cm foram retirados de cinco posições ao longo do tronco, correspondendo a 2%, 10%, 30%, 50% e 70% da altura comercial. Um disco adicional foi extraído a 1,30 m do solo (DAP), como mostrado na Figura 2.

Os discos foram devidamente identificados e enviados ao Laboratório de Energia da Biomassa Florestal da Universidade Federal de Lavras (UFLA) para análise das propriedades da madeira e do carvão vegetal.

Cada disco foi seccionado em quatro cunhas opostas, dividindo a medula. Duas das cunhas menores foram utilizadas para determinar a densidade básica da madeira, conforme a norma NBR 11941 (ABNT, 2003). As cunhas foram inicialmente saturadas por imersão em água, e o volume saturado foi medido sem casca. Após esse procedimento, as cunhas foram secas em estufa a  $103 \pm 5$  °C por 48 horas, ou até atingirem massa constante. A densidade básica foi então calculada dividindo-se a massa seca pelo volume saturado.

A densidade básica média de cada posição ao longo do tronco foi obtida pela média aritmética das densidades das duas cunhas opostas. A densidade básica média da árvore foi calculada como a média das densidades em todas as posições amostradas, com exceção da posição DAP.

A massa seca do tronco foi estimada multiplicando-se a densidade básica média da árvore pelo volume total sem casca, ajustando o resultado para quilogramas.

O poder calorífico superior foi determinado por meio de um calorímetro digital IKA C-200®, seguindo a norma ASTM E711-87 (ASTM, 2004). Com base nos resultados, a densidade energética foi obtida multiplicando o poder calorífico pela densidade relativa aparente da madeira ou carvão.

Quanto à realização das análises estatísticas, destaca-se que o experimento foi desenvolvido utilizando o delineamento inteiramente casualizado contendo cinco tratamentos (clones) e quatro repetições (árvore amostra). Para o teste de normalidade foi utilizado o software “ASSISTAT 7.7”, e para as comparações univariadas foi utilizado o software “Agroestat (MALDONADO, 2020) e adotado o teste de Scott e Knott, considerando o nível de significância de 5%.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

De acordo com as características da madeira dos clones analisados, constatou-se pela Tabela 1, que os valores médios da densidade básica média (DBm), massa seca (MS), volume comercial sem casca (VCSC), poder calorífico superior (PCS) e densidade energética da madeira (DEM), apresentaram diferenças significativas entre os clones. Não se observou diferenças significativas dos

valores médios para o PCS.

Tabela 1 – Valores médios da densidade básica média (DBm), massa seca (MS), volume comercial sem casca (VCSC), poder calorífico superior (PCS) e densidade energética da madeira (DEM) dos clones avaliados

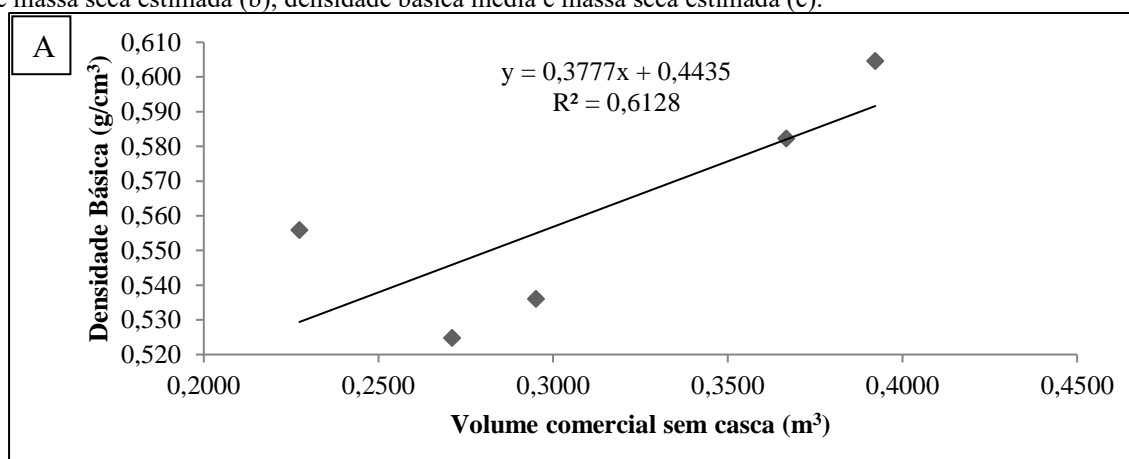
Clone	MS (kg)		VCSC (m <sup>3</sup> )		DBm (g/cm <sup>3</sup> )		PCS (cal/g)	DEM (Gcal/m <sup>3</sup> )	
1	126,85	b	0,2274	b	0,556	b	4.661 a	2,59	b
2	252,86	a	0,4152	a	0,607	a	4.590 a	2,79	a
3	238,31	a	0,3922	a	0,605	a	4.683 a	2,83	a
4	142,95	b	0,2711	b	0,525	c	4.666 a	2,45	c
5	158,50	b	0,2951	b	0,536	c	4.626 a	2,48	c

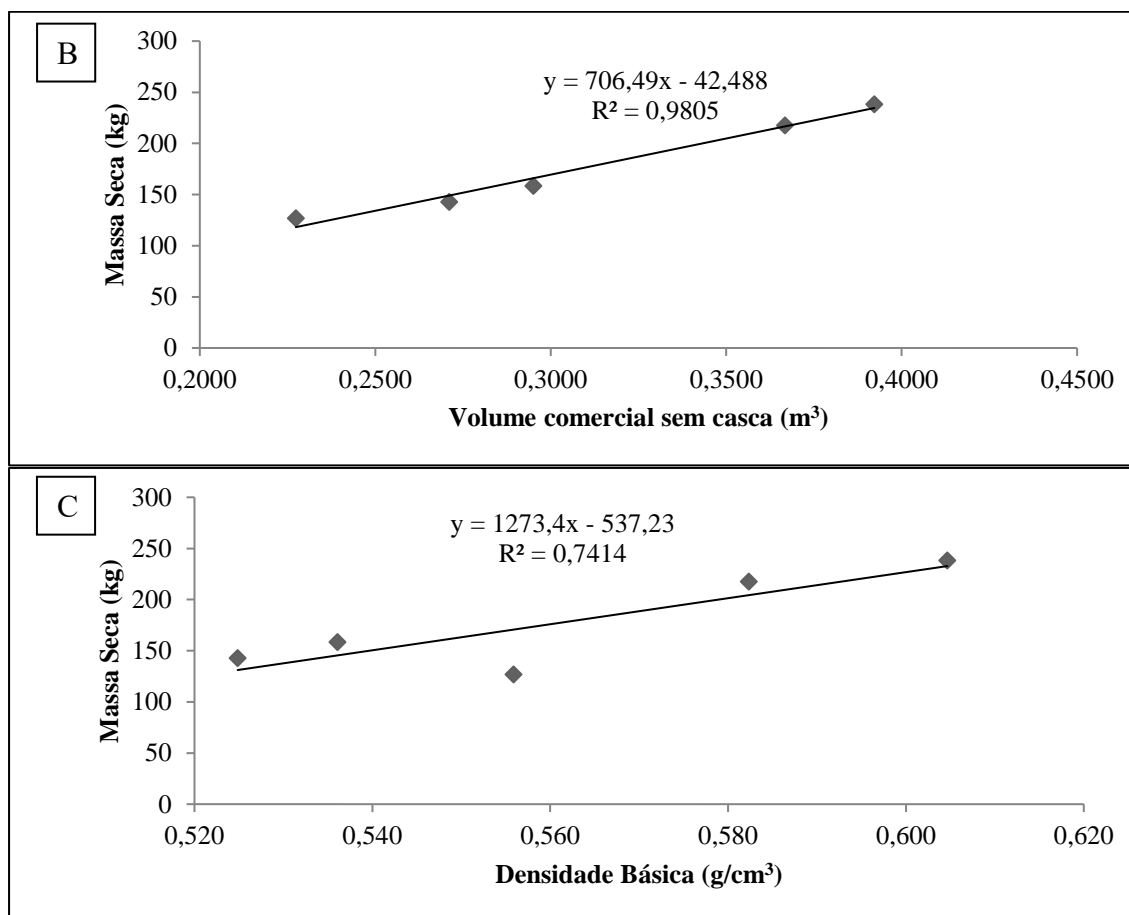
Valores seguidos de mesma letra na vertical não diferem entre si significativamente pelo teste de Scott e Knott ( $p < 0,05$ ).

Destaca-se que os clones 2 e 3 obtiveram valores médios superiores aos demais para todas as características, com exceção para o PCS onde todos os clones não diferiram em valor. Já os clones 4 e 5 apresentaram os menores valores para DBm e DEM. O clone 1, com exceção do PCS, obteve valores médios intermediários para todas as características analisadas.

Na Figura 3, observa-se que existe tendência positiva de aumento da DBm com o crescimento volumétrico da árvore, ou seja, maiores crescimentos volumétricos estão associados a madeira de maior densidade básica.

Figura 3 – Relação funcional entre o volume comercial sem casca com a densidade básica (a); volume comercial sem casca e massa seca estimada (b); densidade básica média e massa seca estimada (c).





Fonte: Elaborado pelos autores

A madeira é um material heterogêneo, considerando-se as características anatômicas, químicas, físicas e mecânicas. Essa heterogeneidade está relacionada com material genético, idade, condições edafoclimáticas, espaçamento de cultivo, manejo da floresta e posição da madeira ao longo da árvore (SOARES et al., 2014). A DBm é uma das principais propriedades da madeira, influenciada por fatores como idade, espécie e manejo silvicultural, e está associada a características mecânicas e energéticas da madeira (OLIVEIRA et al., 2021).

Para determinar o melhor uso da madeira, é essencial avaliar diversos parâmetros relacionados à sua qualidade. Para o uso múltiplo da madeira, as análises de DBm ao longo do tronco revelam a uniformidade dos clones, sendo este um fator determinante para sua utilização como madeira sólida ou transformada. Além disso, é necessário considerar outros parâmetros, como características anatômicas, composição química e propriedades mecânicas, bem como ensaios tecnológicos e aspectos silviculturais. Essas avaliações são fundamentais para a seleção adequada de clones (ALZATE; TOMAZELLO FILHO; PIEDADE, 2005).

Para fins de definição de valores econômicos, ecológicos e uso potencial das espécies, a sua composição química, especialmente o teor de lignina, é uma boa ferramenta, além da DBm, para



caracterizá-la como uma matéria-prima renovável e potencial, disponível para a produção de energia (SANTOS et al., 2016). A DBm, relação entre o material lenhoso seco por unidade de volume verde ou saturado, está relacionada a muitas características tecnológicas fundamentais para a produção e a utilização dos produtos florestais.

Nesta pesquisa, observou-se que a DBm da madeira variou de 0,525 a 0,607 g/cm<sup>3</sup>, com destaque para os clones 2 e 3. Esses valores são semelhantes aos ideais para a produção de carvão vegetal (LIMA et al., 2020). Oliveira et al. (2010) avaliaram o clone de *E. pellita* aos cinco anos e encontraram DBm da madeira de 0,56 g/cm<sup>3</sup>, inferior à encontrada para dois clones estudados e superior aos demais. Há relatos, na literatura, de que a densidade da madeira tende a aumentar com a idade do material até certa idade da árvore (BENIN; WATZLAWICK; LIMA, 2021; SSEREMBA et al., 2021).

Ao avaliar a variação da DBm da madeira de *E. grandis*, em quatro idades (3, 6, 9 e 12 anos), Sseremba et al. (2021) observaram aumento da mesma com a idade, que pode ser explicado pelo aumento de características anatômicas, como o diâmetro da fibra. A DBm varia com material genético. Couto et al. (2015) citam que, entre três materiais analisados, a DBm variou de 0,503 a 0,606 g/cm<sup>3</sup>, caracterizando o genótipo com valor superior a 0,606 g/cm<sup>3</sup> como o mais propício à produção de carvão vegetal para uso siderúrgico entre os analisados.

Santos et al. (2011) verificaram que valores médios para a DBm da madeira superiores a 0,54 g/cm<sup>3</sup> são interessantes para a produção de carvão vegetal, visto que, quando se degrada a madeira, cerca de 60% de sua massa é perdida. Consequentemente, quanto maior a DBm, maior a massa de carvão vegetal produzido para um determinado volume. Isso indica, de modo geral, a obtenção de carvão com maior resistência mecânica. Nesse sentido, pode-se pressupor que os clones 1, 2 e 3 são interessantes para a produção de carvão vegetal. Trugilho et al. (2001) estudaram o potencial energético da madeira de clones de eucalipto aos sete anos de idade e encontraram valores para DBm variando de 0,52 a 0,59 g/cm<sup>3</sup>, sendo estas consideradas pelos autores potenciais para a produção de carvão.

Embora Resquin et al. (2020) tenham identificado oscilações na variável PCS em diferentes idades, foi observado um aumento ao longo do tempo nas espécies *E. benthamii*, *E. dunnii* e *E. grandis*. Já Castro et al. (2016), estudando correlações entre idade, qualidade da madeira e qualidade de carvão vegetal de clones de eucalipto aos 3, 4, 5 e 7 anos de idade, concluíram que a idade afetou o PCS da madeira, tendo uma diferença significativa entre os clones em todas as idades.

Jesus et al. (2017) destacaram que a variação da DBm influencia diretamente a DEM, o que ocorre porque a densidade básica está diretamente relacionada à produção de energia da madeira. Essa



relação foi constatada no presente trabalho, evidenciando a importância de selecionar madeiras mais densas para maior densidade energética.

Corroborando com os resultados encontrados por Castro et al. (2016), os valores obtidos nesta pesquisa atendem às demandas da indústria siderúrgica. Lima et al. (2011) constataram para a madeira de *E. benthamii* aos 6 anos de idade, DEM de 2,22 Gcal/m<sup>3</sup>. Já Vale et al. (2001) obtiveram DEM média de 3,17 Gcal/m<sup>3</sup> para o carvão vegetal de dez espécies do Cerrado utilizadas como fonte de bioenergia, superando os clones avaliados. Protásio et al. (2013), estudando o potencial siderúrgico e energético do carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* aos 3,5 anos de idade, encontraram DEM variando de 2,0 a 3,25 Gcal/m<sup>3</sup>. Protásio et al. (2015), estudando a avaliação tecnológica do carvão vegetal da madeira de clones jovens de *E. grandis* e *E. urophylla*, observaram DEM entre 2,0 e 3,0 Gcal/m<sup>3</sup>.

Analisando a DEM, Reis et al. (2023) encontraram valor de 2,20 Gcal/m<sup>3</sup> em árvores de *E. urophylla* aos 6 anos de idade, valores próximos aos obtidos no presente trabalho. Em uma caracterização energética do *E. benthamii* aos 6 anos de idade, realizada por Lima et al. (2011), a DEM foi de 2,22 Gcal/m<sup>3</sup>, sendo menor que o valor médio observado no presente estudo (2,63 Gcal/m<sup>3</sup>).

#### 4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstram que todos os clones analisados apresentam características adequadas para a produção de carvão vegetal destinado ao uso siderúrgico.

Dentre os clones avaliados, os clones 2 e 3 se destacaram estatisticamente, apresentando parâmetros superiores aos demais em relação à qualidade do carvão vegetal produzido, atendendo às exigências para aplicação em altos-fornos siderúrgicos. Esses clones mostraram-se promissores devido à combinação de densidade básica e densidade energética, características que influenciam diretamente o desempenho como fonte de bioenergia e como redutor.

Embora existam diversos estudos sobre o tema, os resultados obtidos reforçam a necessidade de aprofundar as investigações, especialmente no que se refere à energia e ao poder redutor produzido por hectare, considerando o volume de biomassa gerado por unidade de área, por meio de inventários florestais.

#### AGRADECIMENTOS

À CAPES, Programa Nacional de Cooperação Acadêmica na Amazônia (PROCAD/Amazônia).

À Universidade Federal do Tocantins – UFT, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia Digital e Laboratório de Agroenergia, Uso da Terra e Mudanças Ambientais (LAMAM – UFT).

À Universidade Federal de Lavras – UFLA, Laboratório da Energia da Biomassa Florestal – UFLA.

À empresa Sinobras Florestal.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR 11941: madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.
- ALZATE, S. B. A.; TOMAZELLO FILHO, M.; PIEDADE, S. M. S. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm. e *E. grandis* x *urophylla*. Scientia Forestalis, Piracicaba, n. 68, p. 87-95, ago. 2005. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr68/cap08.pdf>. Acesso em: 19 dez. 2024.
- ASSIS, A. L.; MELLO, J. M.; GUEDAS, I. C. L.; SCOLFORO, J. R. S. Development of a sampling strategy for young stands of *Eucalyptus* sp. using geostatistics. Cerne, Lavras, v. 15, n. 2, p. 166 – 173, 2009.
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. E71187 - Standard test method for gross calorific value of refuse derived fuel by the bomb calorimeter. Philadelphia, 2004.
- BENIN, C. C.; WATZLAWICK, L. F.; DE LIMA, V. A. Multivariate analysis for classification of dendrometric and energetic variables of *Eucalyptus benthamii*. Floresta, [S.l.], v. 51, n. 1, p. 118–126, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/rf.v51i1.67423>. Acesso em: 19 dez. 2024.
- CASTRO, A. F. N. M.; CASTRO, R. V. O.; CARNEIRO, A. C. O.; SANTOS, R. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; TRUGILHO, P. F.; MELO, I. C. N. A. Correlations between age, wood quality and charcoal quality of *Eucalyptus* clones. Revista Árvore, Viçosa, v.40, n.3, p.551-560. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0100-67622016000300019>. Acesso em: 19 dez. 2024.
- COLLICCHIO, E.; ROCHA, H. R.; ANDRADE, A. M.; SIQUEIRA, G. B.; GAMBA, F. B.; CIFUENTES, J. E. M.; PITI, H. J.; PINTO, E. S. Aspectos gerais, uso da terra e potencialidades do Tocantins para a produção agrícola. In: COLLICCHIO, E.; ROCHA, H. R. (Ed.) Agricultura e mudanças do clima no Estado do Tocantins: vulnerabilidades, projeções e desenvolvimento. Palmas: Editora Universitária – EdUFT, cap. 1, p. 19–50. 2022. Disponível em: <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/editora/issue/view/repositorio.uft.edu.brhandle11612842/402>. Acesso em: 20 nov. 2024.
- COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; LIMA, J. T.; SILVA, J. R. M.; PROTÁSIO, T. P. Qualidade do carvão vegetal de *Eucalyptus* e *Corymbia* produzido em diferentes temperaturas finais de carbonização. Scientia Florestalis, Piracicaba, v. 43, n. 108, p. 817-831, dez. 2015. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr108/cap07.pdf>. Acesso em: 19 dez. 2024.
- DUARTE, F. A.; COLLICCHIO, E. Desafios e perspectivas do cultivo do eucalipto para fins energéticos no Estado do Tocantins. Liberato, Novo Hamburgo, v. 21, n.35, p. 15-26, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.31514/rliberato.2020v21n35.p15>. Acesso em: 19 dez. 2024.
- FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. FAOSTAT. Roma: FAO, 2024 Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>. Acesso em: 20 jun. 2024.
- IBÁ – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Relatório Anual. 2024. São Paulo: IBÁ, 2024. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio2024.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2024.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura. Brasília, 2023. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5930>. Acesso em: 20 nov. 2024.

IEA – International Energy Agency. World Energy Outlook 2024. Paris: IEA, 2024. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024>. Acesso em: 19 dez. 2024.

IEE/USP - INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE. Produção de energia através da biomassa. 2019. Disponível em: <http://www.iee.usp.br/gbio/?q=livro/biomassa-moderna-versus-biomassa-tradicional>. Acesso em: 10 jul. 2024.

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, v. 47, n. 1, p. 11 - 16, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/rf.v47i1.48418>. Acesso em: 19 jul. 2024.

KENGEN, S. A política florestal brasileira: uma perspectiva histórica. Serie Técnica IPEF, Piracicaba, v. 14, n. 34, p. 18-34, jul. 2001.

LIMA, E. A.; SILVA, H. D.; LAVORANTI, O. J. Caracterização dendroenergética de árvores de *Eucalyptus benthamii*. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v. 31, n. 65, p. 9-17, 2011. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/192>. Acesso em: 19 jul. 2024.

LIMA, M. D. R.; BARROS JUNIOR, U. O.; ASSIS, M. R.; MELO, I. C. N. A.; FIGUEIREDO, I. C. R.; PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F. Variabilidade das densidades básica e energética e estoque de carbono na madeira no fuste de clones de *Eucalyptus*. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 48, n. 128, p. e3302, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.18671/scifor.v48n128.04>. Acesso em: 19 dez. 2024.

LIMA-TOIVANEN, M. B. A evolução da indústria sul-americana de celulose e papel: foco no Brasil, Chile e Uruguai. Revista O Papel, v. 74, n. 9, p. 51 – 66. 2013.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. Dendrometria. 2 ed. Guarapuava: Unicentro, 2009.

MAGALHÃES, M. A. D.; CARNEIRO, A. D. C. O.; VITAL, B. R.; SILVA, C. M. S. D.; SOUZA, M. M. D.; FIALHO, L. D. F. Estimates of mass and energy of different genetic material *Eucalyptus*. Revista Árvore, Viçosa, v. 41, n. 3, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-90882017000300002>. Acesso em: 27 nov. 2024.

MALDONADO, W. J. AgroEstat Online. Disponível em: <http://www.agroestat.com.br>. Acesso em: 31 ago. 2020

MME - Ministério de Minas e Energia. Sistema de Informações Energéticas. Brasília: MME, 2023. Disponível em: <https://www.mme.gov.br/SIEBRASIL/consultas/sistema-numerico.aspx?ss=2>. Acesso em: 17dez. 2024.

OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; ALMEIDA, W.; PEREIRA, B. L. C.; CARDOSO, M. T. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 431-439, set. 2010. Disponível: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr87/cap10.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2024.

OLIVEIRA, R. A.; BATISTELA, G. C.; SIMÕES, D.; PADOVANI, C. R. Aplicação de modelos lineares de efeitos mistos para avaliar a densidade básica da madeira de duas espécies e um híbrido de *Eucalyptus*. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 49, n. 129, p. e3201, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.18671/scifor.v49n129.03>. Acesso em: 19 dez. 2024.

PINTO JÚNIOR, J. E.; SANTAROSA, E.; GOULART, I. C. G. dos R. Histórico do cultivo de eucalipto. In: SANTAROSA, E.; PENTEADO JÚNIOR, J. F.; GOULART, I. C. G. dos R. (Ed.). *Cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda*. Brasília: Embrapa, cap. 1, p. 11 – 12. 20. 2014.

PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; REIS, A. A.; TRUGILHO, P. F.; GODINHO, T. P. Potencial siderúrgico e energético do carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp. aos 42 meses de idade. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 33, n. 74, p. 137-149, abr./jun. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.4336/2013.pfb.33.74.448>. Acesso em: 15 jul. 2024.

PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; LIMA JÚNIOR, 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. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v43n108.6>. Acesso em: 17 jun. 2024.

REIS, G. M. F.; MARCHESAN, R.; SARAIVA, K. F.; SILVA, R. C.; COLARES, C. J. G.; MORAES, C. B.; OLIVEIRA, G. G.; MORAES, T. P. E. Qualidade energética da madeira e do carvão vegetal do fuste e galho de *Eucalyptus urophylla* aos seis anos de idade. *Observatório de la Economía Latinoamericana*, v. 21, n. 8, p. 8735-8752, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.55905/oelv21n8-050>. Acesso em: 19 dez. 2024.

RESQUIN, F.; NAVARRO-CERRILLO, R. M.; CARRASCO-LETELIER, L.; et al. Influence of age and planting density on the energy content of *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus dunnii* and *Eucalyptus grandis* planted in Uruguay. *New Forests*, v. 51, n. 4, p. 631-655, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11056-019-09749-2>. Acesso em: 19 dez. 2024.

SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, A. F. M.; CASTRO, R. V. O.; BIANCHE, J. J.; SOUZA, M. M.; CARDOSO, M. T. Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 221-230, jun. 2011. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr90/cap10.pdf>. Acesso em: 19 dez. 2014.

SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; CASTRO, R. V. O.; VIDAURRE, G. B.; TRUGILHO, P. F.; CASTRO, A. F. N. M. Influência das propriedades químicas e da relação siringil/guaiacil da madeira de eucalipto na produção de carvão vegetal. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 657-669, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509822765>. Acesso em: 19 dez. 2024.

SCANAVACA JÚNIOR, L.; GARCIA, J. N. Physical and mechanical properties of *Eucalyptus urophylla*. *Brazilian Journal of Agriculture*, Piracicaba, v. 98, n. 1, p. 12-22, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.37856/bja.v98i1.4317>. Acesso em: 15 set. 2024.

SEPLAN - SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO. Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Tocantins. Diagnóstico Ecológico-Econômico do Estado do Tocantins. Palmas: SEPLAN/GIES, 2017. v. I de II 522 p. Disponível em: <https://central3.to.gov.br/arquivo/443465/>. Acesso em: 15 jun. 2024.

SOARES, V. C.; BIANCHI, M. L.; TRUGILHO, P. F.; PEREIRA, A. J.; HÖFLER, J. Correlações entre as propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto. *Revista Árvore*, v. 38, n. 3, p. 543-549, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000300017>. Acesso em: 22 jun. 2024.

SSEREMBA, O. E.; MUGABI, P.; BANANA, A. Y.; WESSELS, B. C.; PLESSIS, S. Variation of basic density, calorific value and volumetric shrinkage within tree height and tree age of Ugandan grown *Eucalyptus grandis* wood. *Journal of Forestry Research*, v. 32, p. 503–512, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01141-7>. Acesso em: 19 dez. 2024.

THORNHILL, A. H.; CRISP, M. D.; KÜLHEIM, C.; LAM, K. E.; NELSON, L. A.; YEATES, D. K.; MILLER, J. T. A dated molecular perspective of eucalypt taxonomy, evolution and diversification. *Australian Systematic Botany*, v. 32, p. 29–48, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/SB18015>. Acesso em: 20 nov. 2024.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; LINO, A. L. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal. *Cerne, Lavras*, v. 7, n. 2, p. 104-114, 2001.

VALE, A. T.; COSTA, A. F.; GONÇALEZ, J. C.; NOGUEIRA, M. Relações entre a densidade básica da madeira, o rendimento e a qualidade do carvão vegetal de espécies do cerrado. *Revista Árvore, Viçosa*, v. 25, n. 89, p. 89–95, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/198050981767>. Acesso em: 15 set. 2024.