

Caracterização química e energética da madeira de quatro clones de eucalipto

Benoni Zaghi Neto ¹; Gustavo Gomes Figueiredo ¹; Leonardo Vinícius de Souza ²; Diego Martins Stangerlin ¹

¹ Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais / Universidade Federal de Mato Grosso – Campus Sinop;
² Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais e Ambientais / Universidade Federal de Mato Grosso –

Campus Cuiabá;

E-mail: zaghineto@gmail.com

Resumo: Objetivou-se com este trabalho realizar a caracterização química e energética da madeira de quatro clones de *Eucalyptus sp.* com 4 anos de idade. Para tanto, foram selecionados os clones H13, GG100, VM01 E I144, em povoamentos florestais com espaçamentos de 3x3, 3x2, 3x3 e 3x2 m, respectivamente, no município de Sorriso - MT. De cada clone, foram derrubadas três árvores para retirada de discos de madeira a 1,3 m de altura (DAP). Os clones apresentaram valores médios de massa específica básica de 0,40 g/cm³, teor de cinzas de 0,32%, teor de lignina de 19,05%, teor de holocelulose de 77,71 % e teor de extractivos de 2,92%. Os clones VM01 e GG100 apresentaram os maiores valores de poder calorífico superior direto, com 4.199 Kcal/Kg e 4.223 Kcal/m³, respectivamente. Com base nas propriedades químicas e energéticas, conclui-se que a espécie possui grande potencial para o uso como fonte de energia.

Palavras-chave: Energia de biomassa, Potencial energético, Poder calorífico.

Chemical and energetic characterization of four *Eucalyptus* clones wood

Abstract: This study aimed to make a chemical and energetic characterization of the 4 years old *Eucalyptus* clones wood. Thus, the H13, GG100, VM01 and I144 clones were selected in 3x3, 3x2, 3x3 and 3x2m forest stands, respectively, in the Sorriso city, Mato Grosso State. From each clone, three trees were felled for removal of a 1.3 m high wooden disk (DAP). The clones presented average values of basic specific gravity of 0.40 g/cm³, ash content of 0.32%, lignin content of 19.05%, holocellulose content of 77.71% and extractive content of 2.92%. The VM01 and GG100 clones presented the highest values of direct higher calorific value, with 4.199 Kcal/kg and 4.223 Kcal/m³, respectively. Based on the chemical and energetic properties, it is concluded that the species has great potential for use as an energy source.

Keywords: Biomass energy, Energetic potential, Calorific value.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país florestal com aproximadamente 58% do seu território coberto por florestas, sendo que, deste total, estima-se que 10 milhões de hectares correspondem a florestas plantadas (IBGE 2017; SNIF 2017). Dentre as áreas de florestas plantadas, as florestas de eucalipto têm sido as mais indicadas para fins energéticos, em razão de sua excelente produção volumétrica e da boa qualidade da madeira. Esse bom desempenho da cultura é em grande parte resultante do intenso melhoramento genético realizado com a espécie e do manejo adequado dos povoamentos (Goulart et al. 2003; Castro et al. 2013).

De acordo com a Associação Brasileira de Florestas Plantadas (2010), a área de florestas com eucalipto está em franca expansão em estados considerados como novas fronteiras da silvicultura, como é o caso de Mato Grosso, que utiliza este material como uma importante fonte de geração de energia, sobretudo por meio da sua queima direta na forma de lenha.

Neste sentido, objetivou-se com este trabalho realizar a caracterização química e energética da madeira de quatro clones de *Eucalyptus* (I144, GG100, VM01, H13) com 4 anos de idade, oriundos povoamentos homogêneos na região norte do Estado de Mato Grosso.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Coleta e preparo das amostras

Para realização desse estudo foram selecionados os clones de *Eucalyptus* H13, GG100, VM01 e I144 com idade de 4 anos, em povoamentos florestais com espaçamentos de 3x3, 3x2, 3x3 e 3x2 m, respectivamente, no município de Sorriso - MT. Os clones GG100, I144 e H13 foram obtidos de híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* e o VM01 de híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus camadulensis*.

De cada clone, foram derrubadas três árvores para retirada de discos de madeira a 1,3 m de altura (DAP). Logo após a derrubada, foi determinado o volume em tora de cada árvore. Os discos foram fracionados em duas cunhas opostas, sendo uma das cunhas seccionadas para retirada de amostras com dimensões de 2x3x5 cm para determinação da massa específica básica e a outra transformada em serragem de granulometria de 60 mesh para determinação das propriedades químicas e energéticas.

2.2 Caracterização química e física do material

Para a determinação da massa específica básica da madeira foram utilizados seis corpos de prova para cada clone selecionado, sendo determinada a massa específica a partir da relação entre a massa anidra e o volume verde, conforme procedimentos da NBR 7190 da ABNT (1997).

Na caracterização da composição química foram determinados, em duplicata, os teores de cinzas, extrativos e lignina, de acordo com procedimentos descritos, respectivamente, nas NBR 13999, 14853 e 7989 (ABNT, 2003; 2010a; 2010b). O teor de holocelulose foi determinado de modo indireto por meio da diferença entre a composição química total e a composição da fração não carboidrato.

2.3 Determinação do poder calorífico e da densidade energética

O poder calorífico superior obtido de modo direto foi determinado a partir do emprego de bomba calorimétrica, modelo PARR 6400 Calorimeter, com princípio de funcionamento adiabático e isoperibólico, utilizando três amostras de aproximadamente 0,5 g, para cada clone, conforme descrito nos procedimentos da NBR 8636 (ABNT, 1984).

A quantificação do poder calorífico superior de modo indireto foi feita através do método proposto por Telmo et al. (2010), mediante o uso da Equação 1, convertendo MJ/Kg para Kcal/Kg de modo a facilitar a comparação com outros trabalhos.

(Equação 1)

Em que: PCs= poder calorífico superior (MJ/Kg); TL= teor de lignina (%); TE= teor de extrativos (%).

A densidade energética foi obtida pelo produto do poder calorífico superior direto pela massa específica básica, conforme Equação 2. Para a quantificação de árvores para geração de energia, foi levado em consideração sua densidade energética e dados de volumetria média de cada clone.

(Equação 2)

Em que: DE = Densidade energética (Kcal/m³); PCs = Poder calorífico superior direto (Kcal/Kg); MEb = Massa específica básica (Kg/m³).

Devido as análises realizadas em duplicata, os resultados foram comparados em termos de médias descritivas.

3. RESULTADOS

3.1 Densidade e composição química

A massa específica básica dos clones variou entre $0,37\text{g/cm}^3$ a $0,43\text{g/cm}^3$. Quanto à composição química, os clones I144 e VM01 apresentaram maior teor de extrativos totais e holocelulose, e menores teores de lignina total na madeira. Em contrapartida, os maiores teores de lignina foram observados nas madeiras dos clones H13 e GG100 (Tabela 1).

Tabela 1. Massa específica básica e teores de cinzas, extrativos, lignina e holocelulose da madeira de 4 clones de eucalipto

Clones	ME (g/cm ³)	Cz (%)	Ext (%)	Lig (%)	Hol (%)
H13	0,43	0,30	1,75	20,58	77,37
GG100	0,39	0,38	2,41	20,02	77,19
I144	0,37	0,35	3,14	18,39	78,12
VM01	0,40	0,27	4,37	17,21	78,16

Em que: ME= massa específica; Cz= teor de cinzas; Ext= teor de extrativos; Lig= teor de lignina; Hol= teor de holocelulose.

Os valores médios observados para as características químicas da madeira dos clones de eucalipto foram de 2,92 % para extrativos totais, 19,05 % para teor de lignina e 77,71% de holocelulose. Para o teor de cinzas não houve variação significativa entre os clones.

3.2 Poder calorífico e densidade energética

O poder calorífico superior (PCs) dos clones analisados variou de 4065 Kcal/kg a 4223 Kcal/kg. Os clones H13 e GG100 apresentaram maior poder calorífico superior indireto, enquanto na análise direta os clones GG100 e VM01 mostraram maiores valores, sendo 4223 Kcal/Kg e 4199 Kcal/Kg, respectivamente. Entre as duas análises de poder calorífico (direta e indireta) houve uma diferença média de 110 Kcal/Kg (Tabela 2).

Tabela 2. Poder calorífico e densidade energética da madeira de 4 clones de eucalipto

Clone	PCS indireto (Kcal/kg)	PCS direto (Kcal/kg)	DE (Kcal/m ³)	Nº de árvores/1000 kWh
H13	4085	4188	1.800.840,00	4
GG100	4090	4223	1.646.970,00	4
I144	4065	4140	1.531.800,00	3
VM01	4070	4199	1.679.600,00	5

Em que: PCS = poder calorífico superior; DE = Densidade energética; e Nº árvores/1000 kWh = Número de árvores para gerar 1000 kWh.

No que se refere à densidade energética da madeira, o clone H13 apresentou o maior valor

(1.800.840 Kcal/m³); contudo, a diferença entre os valores obtidos para os outros clones foi ínfima. O clone I144 apresentou menor número de árvores para geração de 1000 kWh, seguido dos clones GG100, H13 e VM01 (Tabela 2).

4. DISCUSSÃO

4.1 Densidade e composição química

Os resultados de massa específica básica (Tabela 1) estão superiores àqueles encontrados em estudo feito por Tonini et al. (2016) em clones de eucalipto com 15 meses de idade no município de Sinop (MT), os quais apresentaram variação de 0,34 g/cm³ a 0,39 g/cm³. Santos (2011), constatou em clones de eucalipto com 7 anos, oriundos da cidade de Carbonita – MG, uma variação de 0,50 g/cm³ a 0,54 g/cm³.

Quanto à composição química os valores médios observados para as madeiras estudadas foram de 2,92 % para extrativos totais, 19,05 % para teor de lignina e 77,71% de holocelulose. Os resultados médios encontrados para os teores de extrativos e lignina estão abaixo da média de alguns estudos realizados em clones de *Eucalyptus* com 7 anos de idade destinados à produção de carvão vegetal, os quais variaram de 4,77 a 6,71% para extrativos e de 28,18 a 32% para lignina (Trugilho et al. 2001; Santos 2010; Castro et al. 2013). Ainda em concordância com estes autores, considerando a diferença de 3 anos de idade entre os clones analisados e os referenciados, é possível observar que o envelhecimento tende a promover transformações em sua composição química.

A pouca variação entre os clones para o teor de cinzas corrobora com os resultados obtidos por Couto et al (2003), ao analisar amostras de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus camadulensis* e *Eucalyptus urophylla*.

4.2 Poder calorífico e densidade energética

Os resultados obtidos para o poder calorífico superior da madeira são, em média, ligeiramente inferiores a outros resultados observados na literatura, que variam de 4194 a 4718,88 Kcal/kg, para diferentes espécies e clones da madeira de *Eucalyptus* com 7 a 13 anos de idade (Santos 2010; Castro et al. 2013; Nones et al. 2015). Este resultado pode estar ligado ao fato de que a madeira dos clones analisados neste trabalho foi obtida aos 4 anos de idade, ou seja, ela ainda poderá passar por transformações em sua composição até o momento ideal de corte. Estas transformações podem estar associadas a um acréscimo no teor de lignina e na densidade básica da

madeira.

Com relação à densidade energética da madeira dos clones de eucalipto, o clone H13 apresentou o maior valor (1.800.840 Kcal/m³); porém, não houve diferença significativa entre os clones. O clone I144 apresentou menor número de árvores para geração de 1000 kWh, seguido dos clones GG100, H13 e VM01 (Tabela 2). Este resultado pode ser relacionado ao maior incremento em volume do clone I144 (0,15 m³) quando comparado aos outros clones, que denotaram valores inferiores a 0,13 m³.

5. CONCLUSÃO

O clone GG100 apresentou maior poder calorífico superior, tanto no método direto quanto indireto. Contudo, o clone I140 apresentou o menor número de árvores necessário para a geração de 1000 kWh. Com base nas propriedades químicas e energéticas, a espécie possui grande potencial para o uso como fonte de energia, possuindo poder calorífico superior acima de 4000 Kcal/kg. A diferença média entre os métodos de análise do poder calorífico (direto e indireto) foi de 110 Kcal/kg, indicando que o método indireto pode ser utilizado para realizar a estimativa do poder calorífico superior de clones de eucalipto.

6. AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Tecnologia de Madeira da Universidade Federal de Mato Grosso – Campus Sinop; À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

7. REFERÊNCIAS

ABNT. NBR-13999: papel, cartão, pastas celulósicas e madeira: determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525° C. 2003.

ABNT. NBR-14853: madeira: determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano e em acetona. 2010.

ABNT. NBR-7989: pasta celulósica e madeira – Determinação de lignina insolúvel em ácido. 2010
ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA ABRAF: ano base 2010. Brasília, DF: ABRAF, 2011. 140 p.

Castro AFNM (2011) *Efeito da idade e de materiais genéticos de Eucalyptus sp. na madeira e carvão vegetal*. Dissertação, Universidade Federal de Viçosa. 98p.

Castro AFNM, Castro RVO, Carneiro ADCO, de Lima JE, dos Santos RC, Pereira BLC, Alves ICN (2013). Análise multivariada para seleção de clones de eucalipto destinados à produção de carvão vegetal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48(6), 627-635.

Couto L, Muller MD, Dias AN, Tsukamoto AA, Fonseca EMB (2003). Espécies Cultivadas para Produção de Biomassa para Energia. *Belo Horizonte: CEMIG*. 35p.

Goulart M, Haselein CR, Hoppe J, Farias JÁ, Pauleski DT (2003). Massa específica básica e massa seca de madeira de *Eucalyptus grandis* sob o efeito do espaçamento de plantio e da posição axial no tronco. *Ciência Florestal*, 13(2), 167-175.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário 2006. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/2006/>>

Acesso em: 24 set. 2017.

Nones DL, Brand MA, da Cunha AB, de Carvalho AF, Weise, SMK (2014). Determinação das propriedades energéticas da madeira e do carvão vegetal produzido a partir de *Eucalyptus benthamii*. *Floresta*, 45(1), 57-64.

Santos RD (2010) *Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto*. Dissertação, Universidade Federal de Lavras. 175p.

Santos RD, Carneiro ACO, Castro AFM, Castro RVO, Bianche JJ, Souza MM, Cardoso MT (2011). Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. *Scientia Forestalis*, 39(90), 221-230.

SNIF. Sistema Nacional de Informações Florestais. 2016. Boletim de Recursos Florestais 2016, v. 1 e 2. Ed 2. Serviço Florestal Brasileiro. 2016. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/documentos/publicacoes/2232-boletim-snif-compilado-2016-ed2/file>>. Acesso em: 23 de jul 2017.

Telmo C, Lousada J, Moreira N (2010). Proximate analysis, backwards stepwise regression between gross calorific value, ultimate and chemical analysis of wood. *Bioresource technology*, 101(11), 3808-3815.

Tonini H, Morales MM, Meneguci JLP, Antonio DBA, Wruck FJ (2016). Biomassa e área foliar de clones de eucalipto em ILPF: Implicações para a desrama. *Embrapa Agrossilvipastoril-Artigo em periódico indexado (ALICE)*.

Trugilho PF, Lima Tarcísio J, Mori Akira F, Lino AL (2001). Avaliação de clones de *Eucalyptus* para produção de carvão vegetal. *Cerne*, 7(2).