

## Secagem ao Ar Livre da Madeira para Produção de Carvão Vegetal

Antonio José Vinha Zanuncio<sup>1</sup>, José Tarcísio Lima<sup>1</sup>, Thiago Campos Monteiro<sup>1</sup>,  
Paulo Fernando Trugilho<sup>1</sup>, Fernanda Silveira Lima<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras – UFLA, Lavras/MG, Brasil

### RESUMO

A estocagem ao ar livre é o método mais utilizado de secagem de madeira para produção de carvão. Todavia, a secagem natural de toras é pouco estudada. O objetivo deste trabalho foi avaliar a interação entre estocagem e propriedades energéticas da madeira e do carvão. Toras de 1,2 m de comprimento, retiradas dos troncos a 1,3 m do solo, de dez diferentes materiais genéticos, foram utilizadas. As carbonizações ocorreram em mufla após um, dois e três meses de estocagem, à taxa de aquecimento de 1,67°C/min, temperatura máxima de 450°C e tempo de residência de 30 minutos. O poder calorífico da madeira, o rendimento gravimétrico na base seca e úmida, a análise química imediata e o poder calorífico do carvão foram avaliados. O poder calorífico líquido da madeira aumentou após a estocagem e, baseado neste parâmetro, o tempo ótimo de estocagem variou entre dois e três meses para os diferentes materiais. Considerando-se a carbonização, apenas o rendimento gravimétrico na base úmida foi afetado pela estocagem. A secagem foi importante para reduzir a umidade da madeira, favorecendo seu uso para energia.

**Palavras-chave:** umidade, *Eucalyptus*, poder calorífico.

## Outdoor Drying of Wood for Charcoal Production

### ABSTRACT

The storage of logs in outdoors areas is the most commonly used wood drying method for charcoal production; however, studies on outdoor drying of logs are still scarce. This study aimed to evaluate the effect of storage time on the energetic properties of wood and charcoal. Logs of 1.2 meters in length extracted from trunks of 10 different clones at 1.3 m above ground level were used in this study. Carbonization in muffle furnace occurred after one, two and three months of storage at a heating rate of 1.67 °C, maximum temperature of 450 °C, and residence time of 30 minutes. Wood calorific value, gravimetric yields on dry and wet bases, chemical analysis, and charcoal calorific value were evaluated. The net calorific value of wood increased with storage time; the optimum storage time ranged between two and three months for different materials. Among the carbonization parameters, only the gravimetric yield on wet basis changed with storage time. Drying was important to reduce wood moisture, favoring its use for energy production.

**Keywords:** moisture, *Eucalyptus*, calorific value.

## 1. INTRODUÇÃO

O mundo busca formas de energia para substituir as fontes não renováveis e, neste contexto, a biomassa se destaca. No Brasil, em 2011, a biomassa correspondeu a 6,5% da oferta de energia, podendo chegar a 14% em 2020 (ABRAF, 2012).

A produção de carvão vegetal necessita de matéria de qualidade. Madeiras com alto teor de lignina e extrativos, e baixa umidade são mais propícias para uso energético (Vale et al., 2010; Vital et al., 1986; Brand et al., 2011).

A madeira recém-abatida apresenta grandes quantidades de água, que reduzem o poder calorífico e inviabilizam seu uso para energia (Brand & Muñoz, 2010). A estocagem ao ar livre é o método mais difundido de secagem da madeira para fins energéticos com baixo custo, mas o tempo de secagem é maior. A perda de água por este método é maior nas primeiras semanas (Rezende et al., 2010a, b).

A umidade diminui o rendimento gravimétrico, pois parte do material lenhoso é queimado para retirada da água na forma de vapor (Rousset et al., 2011), o que diminui o poder calorífico do material lenhoso (Brand et al., 2011) e aumenta a friabilidade do carvão.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do tempo de estocagem da madeira nas propriedades energéticas da madeira e do carvão vegetal.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Nove materiais genéticos de *Eucalyptus* e um material de *Corymbia* (Tabela 1), das empresas V&M Florestal Ltda e Cenibra S.A., foram utilizados, sendo uma árvore de cada um. Uma tora de 1,2 m de comprimento foi retirada do tronco do material a 1,3 m do solo.

Um disco de 5 cm foi retirado de cada extremidade da tora, para determinação da densidade básica e da umidade, conforme NBR 11941 (ABNT, 2003). Os topos das toras foram impermeabilizados com base asfáltica e condicionados em local coberto para secagem natural.

Um disco de cada extremidade da tora foi retirado para carbonização, logo após a remoção da parte com impermeabilizante, após um, dois e três meses de estocagem. A tora remanescente era então novamente impermeabilizada, sua massa obtida e a secagem acompanhada. Por fim, foram retirados dois discos da tora remanescente que foram secos em estufa para carbonização na condição anidra. Desse modo, os tratamentos foram divididos da seguinte forma: T1: amostras avaliadas após um mês de secagem; T2: amostras avaliadas após dois meses de secagem; T3: amostras avaliadas após três meses de secagem; T4: amostras avaliadas na condição anidra.

Os discos foram divididos em cunhas opostas, sendo quatro destinadas à carbonização e quatro para determinação da umidade e da densidade básica da madeira.

**Tabela 1.** Clones de *Eucalyptus* e *Corymbia* selecionados.  
**Table 1.** Clones of *Eucalyptus* and *Corymbia* selected.

Clone	Procedência	Idade (anos)	Diâmetro (cm)
GER 73402*	Paraopeba-MG	7	20,1
MN 463*	Paraopeba-MG	7	18,2
PEM 03698*	Paraopeba-MG	8	19,4
VM 1**	Paraopeba-MG	7	18,1
VM 3*	Paraopeba-MG	7	19,7
VM 4*	Paraopeba-MG	8	17,9
VM 5*	Paraopeba-MG	8	20,0
<i>Corymbia citriodora</i>	Ipatinga-MG	7	17,1
<i>Eucalyptus paniculata</i>	Ipatinga-MG	7	15,5
<i>E. torelliana</i> × <i>C. citriodora</i>	Ipatinga-MG	7	17,2

\*Híbrido natural de *Eucalyptus urophylla*; \*\**Eucalyptus urophylla* × *E. camaldulensis*.

A carbonização foi realizada à taxa de aquecimento de 1,67°C/min, temperatura máxima de 450°C e tempo de residência de 30 min. O rendimento gravimétrico do carvão produzido foi determinado em base seca e úmida.

A análise química imediata foi feita conforme NBR 8112 (ABNT, 1986); o poder calorífico superior, conforme NBR 8633 (ABNT, 1984), e a densidade relativa aparente, conforme NBR 9165 (ABNT, 1985), sendo que todos estes testes foram realizados em triplicata.

O poder calorífico superior foi calculado conforme NBR 8633 (ABNT, 1984) e o líquido conforme Equação de Tillman (Equação 1).

$$PCI = PCs - (0,0114 \times PCs \times U (\%)) \quad (1)$$

Em que:

PCI = poder calorífico líquido;

PCs = poder calorífico superior;

U (%) = umidade da madeira, base úmida em porcentagem.

De maneira preliminar, antes da análise de variância, foram realizados testes de homogeneidade de variâncias (teste de Bartlett, a 5% de significância) e de normalidade (teste Shapiro-Wilk, a 5% de significância). O contraste entre as médias do poder calorífico da madeira e rendimento gravimétrico, densidade relativa aparente, análise química imediata e poder calorífico superior foi determinado pelo teste de Scott-Knott a 5% de nível de significância.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade da madeira das toras de *Eucalyptus* e *Corymbia* variou de 0,486 a 0,706 g/cm<sup>3</sup>; a umidade inicial, de 54,67 a 129,70% para as toras recém abatidas, 32,49 a 89,55% após o primeiro mês, 26,75 a 73,89% para o segundo mês e 24,18 a 68,76% para o terceiro mês (Tabela 2). A perda de umidade foi maior no primeiro mês de secagem, quando ocorre a perda da água livre, mais fácil de ser removida (Rezende et al., 2010a; Berberovic & Milota, 2011; Mugabi et al., 2010). Embora apresentem menor diâmetro, os materiais *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus paniculata* e *C. citriodora* × *E. toreliana* foram os que menos perderam umidade durante o período avaliado; note-se que sua menor umidade final se deve à menor umidade inicial, resultado da maior densidade destes materiais, evidenciando como a densidade pode ser mais efetiva na obtenção de materiais com baixa umidade do que o diâmetro. Estes materiais foram os únicos que apresentaram umidade inferior a 35% após três meses de secagem, valor próximo à umidade recomendada para carbonização.

Todos os parâmetros avaliados apresentaram homogeneidade de variâncias pelo teste de Bartlett, a 5% de significância, e distribuição normal pelo teste Shapiro-Wilk, a 5% de significância; deste modo, não precisaram ser transformados.

O poder calorífico superior da madeira de *Eucalyptus* e *Corymbia* variou de 4592 a 4787 cal/g. O poder calorífico líquido variou de 1689 a 2784 cal/g

**Tabela 2.** Umidade das toras recém abatidas e após secagem.

**Table 2.** Moisture content of the logs during the period studied.

Amostra	DB (g/cm <sup>3</sup> )	Umidade (%)			
		Recém abatida	1 mês	2 meses	3 meses
GER 73402*	0,536	100,26	66,57	59,08	53,61
MN 463*	0,486	129,70	82,55	66,57	63,52
PEM 03698*	0,504	129,45	89,55	73,89	68,76
VM 1**	0,565	98,69	66,48	57,59	52,42
VM 3*	0,536	109,92	72,07	62,18	57,96
VM 4*	0,552	102,41	62,53	55,35	46,89
VM 5*	0,552	105,76	67,68	59,33	55,81
<i>Corymbia citriodora</i>	0,705	73,52	38,38	34,06	31,50
<i>Eucalyptus paniculata</i>	0,653	66,16	32,49	26,75	24,18
<i>C. citriodora</i> × <i>E.toreliana</i>	0,684	54,67	34,34	28,36	25,46

\*Híbrido natural de *Eucalyptus urophylla*; \*\**Eucalyptus urophylla* × *E. camaldulensis*.

para as toras recém-abatidas, e entre 2190 e 3308 cal/g; de 2447 a 3488 cal/g, e de 2542 a 3584 cal/g após um, dois e três meses de secagem, respectivamente (Tabela 3). O poder calorífico superior foi semelhante aos relatados para os gêneros *Eucalyptus*, *Eschweilera* e *Pinus*, de 4250 a 4796 cal/g (Brand & Muñoz, 2012; Vale et al., 2000; Monteiro et al., 2012; Moutinho et al., 2011; Santos et al., 2011).

Os materiais de *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus paniculata* e *C. citriodora* × *E. toreliana* apresentaram menores valores para o poder calorífico superior; entretanto, como tiveram menor umidade nas quatro avaliações, o poder calorífico líquido dos mesmos foi maior. Seis materiais genéticos apresentaram tempo ótimo de secagem de dois meses e quatro materiais apresentaram três meses de secagem como tempo ótimo. Esta variação é devida à perda de umidade dos materiais no terceiro mês de estocagem, pois aqueles com tempo ótimo de dois meses apresentaram menor perda de umidade no último período.

O rendimento gravimétrico da madeira na base úmida variou de 17,54 a 24,13% no primeiro mês de estocagem; 18,97 a 24,85% no segundo; 20,09 a 24,96% no terceiro, e 29,37 a 33,99% para a madeira anidra carbonizada. A densidade relativa aparente variou entre 0,305 e 0,533 g/cm<sup>3</sup> (Tabela 4).

A mufla supriu a energia demandada para retirada da água na madeira e, com isso, não há queima do material lenhoso para retirada da água na forma de vapor (Rousset et al., 2011); desse modo,

não há diferença no rendimento na base seca e, como a degradação térmica foi semelhante para madeiras de um mesmo material genético, não houve relação entre a umidade e a densidade relativa aparente nos materiais carbonizados na mufla. Considerando-se a carbonização na base úmida, *Corymbia citriodora*, *E. paniculata* e *E. citriodora* × *E. toreliana* apresentaram tempo ótimo de estocagem de um mês. Estes clones apresentaram baixa umidade nas árvores recém-abatidas e perderam, respectivamente, 42,02, 41,98 e 29,21% de umidade, sendo 35,14, 33,67 e 20,33% apenas no primeiro mês. Os clones MN 463 e VM 3 apresentaram tempo ótimo de estocagem de dois meses. Os clones GER 73402, PEM 03698, VM 1, VM 4 e VM 5 apresentaram tempo ótimo de estocagem de três meses. Materiais com maior umidade inicial demandaram tempo ótimo de estocagem maior.

O rendimento da carbonização anidra entre os clones variou entre 29,37 e 33,99%. Os menores rendimentos foram de *C. citriodora*, *E. paniculata* e *E. citriodora* × *E. toreliana*, e os maiores de GER 73402 e MN 463. Os clones de menor rendimento na condição anidra apresentaram maior rendimento na carbonização na base úmida, mostrando a influência da água no processo.

Os materiais voláteis variaram de 19,14 a 26,07%, o teor de cinzas de 0,19 a 1,88%, o teor de carbono fixo de 71,7 a 80,22%, e o poder calorífico superior de 7.261 a 7.781 cal/g (Tabela 5).

**Tabela 3.** Poder calorífico superior e líquido nos diferentes períodos avaliados.

**Table 3.** Gross and net calorific value in different periods evaluated.

Material genético	PCS (cal/g)	PCL1 (cal/g)	PCL2 (cal/g)	PCL3 (cal/g)	PCL4 (cal/g)
GER 73402*	4697 <sup>88,7</sup> Ac	2016 <sup>36,7</sup> Ed	2557 <sup>28,77</sup> Dd	2708 <sup>37,8</sup> Cd	2828 <sup>31,7</sup> Be
MN 463*	4742 <sup>75,8</sup> Ac	1689 <sup>40,7</sup> Da	2297 <sup>54,3</sup> Cf	2581 <sup>74,5</sup> Be	2642 <sup>52,8</sup> Bg
PEM 03698*	4747 <sup>65,9</sup> Ac	1694 <sup>44,0</sup> Ea	2190 <sup>75,6</sup> Dg	2447 <sup>71,6</sup> Cf	2542 <sup>49,9</sup> Bh
VM 1**	4787 <sup>92,6</sup> Ac	2076 <sup>21,1</sup> Ee	2607 <sup>23,9</sup> Dc	2792 <sup>18,7</sup> Cc	2910 <sup>41,5</sup> Bd
VM 3*	4697 <sup>76,13</sup> Ac	1893 <sup>22,7</sup> Db	2454 <sup>66,0</sup> Ce	2644 <sup>41,7</sup> Be	2732 <sup>77,9</sup> Bf
VM 4*	4735 <sup>67,5</sup> Ac	2003 <sup>46,8</sup> Ed	2658 <sup>33,4</sup> Dc	2811 <sup>96,7</sup> Cc	3011 <sup>85,6</sup> Bc
VM 5*	4752 <sup>98,1</sup> Ac	1967 <sup>32,5</sup> Dc	2565 <sup>21,2</sup> Cd	2734 <sup>46,7</sup> Bd	2811 <sup>41,6</sup> Be
<i>Corymbia citriodora</i>	4650 <sup>56,8</sup> Ab	2403 <sup>28,7</sup> Df	3179 <sup>46,6</sup> Cb	3303 <sup>41,7</sup> Bb	3380 <sup>43,6</sup> Bb
<i>Eucalyptus paniculata</i>	4592 <sup>60,7</sup> Aa	2507 <sup>48,9</sup> Dg	3308 <sup>31,0</sup> Ca	3487 <sup>81,6</sup> Ba	3572 <sup>96,5</sup> Ba
<i>C. citriodora</i> × <i>E. toreliana</i>	4663 <sup>78,0</sup> Ab	2784 <sup>54,8</sup> Dh	3304 <sup>46,8</sup> Ca	3488 <sup>55,1</sup> Ba	3584 <sup>74,5</sup> Ba

\*Híbrido natural de *Eucalyptus urophylla*; \*\**Eucalyptus urophylla* × *E. camaldulensis*. Poder calorífico superior (PCS); Poder calorífico líquido das toras após o abate (PCL1); um mês de secagem (PCL2); dois meses de secagem (PCL3); três meses de secagem (PCL4). Médias na vertical seguidas de mesma letra minúscula ou maiúscula na horizontal não diferem pelo teste de Scott-knott a 5%, respectivamente. Desvio padrão em sobrescrito.

A análise química imediata e do poder calorífico do carvão foram semelhantes entre os tratamentos. A energia fornecida pela mufla padronizou o processo, de modo que materiais carbonizados com diferentes umidades resultassem em produtos com mesmas

características. Castro et al. (2013) relataram valor médio de 24,12% para materiais voláteis, 75,27% para carbono fixo, 0,61 para cinzas e 7383,55 cal/g para poder calorífico do carvão produzido nas mesmas condições deste trabalho.

**Tabela 4.** Rendimento gravimétrico e densidade relativa aparente na produção do carvão dos diferentes tratamentos.  
**Table 4.** Gravimetric yield and apparent relative density of charcoal production in the different treatments.

Material	Tratamento	Umidade (%)	Rend. Grav. base umida (%)	Rend. Grav. base seca (%)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
GER 73402*	T1	66,57	19,71 <sup>0,31</sup> a	32,08 <sup>0,45</sup> a	0,335 <sup>0,011</sup> b
	T2	59,08	20,58 <sup>0,43</sup> a	32,12 <sup>0,38</sup> a	0,341 <sup>0,018</sup> b
	T3	53,61	22,77 <sup>0,31</sup> b	33,68 <sup>0,77</sup> a	0,324 <sup>0,008</sup> a
	T4	0	33,23 <sup>0,88</sup> c	33,23 <sup>0,88</sup> a	0,328 <sup>0,016</sup> a
MN 463*	T1	82,55	18,63 <sup>0,22</sup> a	33,88 <sup>0,78</sup> a	0,314 <sup>0,013</sup> a
	T2	66,57	20,92 <sup>0,44</sup> b	31,39 <sup>0,33</sup> b	0,324 <sup>0,011</sup> a
	T3	63,52	20,81 <sup>0,53</sup> b	32,65 <sup>0,74</sup> b	0,313 <sup>0,010</sup> a
	T4	0	33,99 <sup>0,41</sup> c	33,99 <sup>0,41</sup> a	0,317 <sup>0,025</sup> a
PEM 03698*	T1	89,55	17,54 <sup>0,43</sup> a	33,03 <sup>0,29</sup> a	0,315 <sup>0,021</sup> a
	T2	73,89	18,97 <sup>0,21</sup> b	32,54 <sup>0,34</sup> a	0,322 <sup>0,023</sup> a
	T3	68,76	20,09 <sup>0,43</sup> c	32,77 <sup>0,56</sup> a	0,311 <sup>0,017</sup> a
	T4	0	32,20 <sup>0,66</sup> d	32,20 <sup>0,66</sup> a	0,309 <sup>0,016</sup> a
VM 1**	T1	66,48	20,57 <sup>0,53</sup> a	31,89 <sup>0,84</sup> a	0,398 <sup>0,023</sup> a
	T2	57,59	21,36 <sup>0,56</sup> a	32,88 <sup>0,43</sup> a	0,401 <sup>0,017</sup> a
	T3	52,42	23,45 <sup>0,71</sup> b	32,24 <sup>0,57</sup> a	0,405 <sup>0,015</sup> a
	T4	0	32,50 <sup>0,59</sup> c	32,5 <sup>0,59</sup> a	0,397 <sup>0,018</sup> a
VM 3*	T1	72,07	18,31 <sup>0,34</sup> a	33,09 <sup>0,61</sup> a	0,314 <sup>0,016</sup> a
	T2	62,18	20,54 <sup>0,42</sup> b	32,32 <sup>0,66</sup> a	0,312 <sup>0,014</sup> a
	T3	57,96	20,90 <sup>0,31</sup> b	32,18 <sup>0,40</sup> a	0,306 <sup>0,018</sup> a
	T4	0	32,47 <sup>0,39</sup> c	31,47 <sup>0,39</sup> b	0,305 <sup>0,012</sup> a
VM 4*	T1	62,53	19,54 <sup>0,42</sup> a	31,33 <sup>0,46</sup> a	0,346 <sup>0,021</sup> a
	T2	55,35	20,17 <sup>0,36</sup> a	31,98 <sup>0,41</sup> a	0,353 <sup>0,023</sup> b
	T3	46,89	21,72 <sup>0,41</sup> b	30,55 <sup>0,39</sup> a	0,341 <sup>0,018</sup> a
	T4	0	31,99 <sup>0,36</sup> c	31,99 <sup>0,36</sup> a	0,339 <sup>0,016</sup> a
VM 5*	T1	67,68	19,87 <sup>0,41</sup> a	32,45 <sup>0,41</sup> a	0,340 <sup>0,013</sup> a
	T2	59,33	20,77 <sup>0,36</sup> a	32,15 <sup>0,43</sup> a	0,344 <sup>0,014</sup> a
	T3	55,81	21,90 <sup>0,71</sup> b	32,67 <sup>0,76</sup> a	0,337 <sup>0,016</sup> a
	T4	0	32,35 <sup>0,63</sup> c	32,35 <sup>0,63</sup> a	0,347 <sup>0,017</sup> a
C.citriodora	T1	38,38	21,63 <sup>0,53</sup> a	30,11 <sup>0,41</sup> a	0,533 <sup>0,016</sup> a
	T2	34,06	22,20 <sup>0,74</sup> b	28,65 <sup>0,41</sup> b	0,524 <sup>0,016</sup> a
	T3	31,50	22,91 <sup>0,53</sup> b	29,66 <sup>0,63</sup> b	0,531 <sup>0,013</sup> a
	T4	0	29,37 <sup>0,75</sup> c	29,37 <sup>0,75</sup> b	0,528 <sup>0,017</sup> a
E. paniculata	T1	32,49	24,13 <sup>0,78</sup> a	32,55 <sup>0,66</sup> a	0,498 <sup>0,019</sup> b
	T2	26,75	24,85 <sup>0,43</sup> a	32,08 <sup>0,41</sup> a	0,481 <sup>0,018</sup> a
	T3	24,18	24,96 <sup>0,41</sup> a	31,53 <sup>0,43</sup> a	0,492 <sup>0,022</sup> a
	T4	0	31,49 <sup>0,43</sup> b	31,49 <sup>0,43</sup> a	0,495 <sup>0,025</sup> a
E. citriodora × E. toreliana	T1	34,34	23,23 <sup>0,45</sup> a	31,55 <sup>0,78</sup> a	0,529 <sup>0,023</sup> b
	T2	28,36	24,16 <sup>0,63</sup> a	31,22 <sup>0,43</sup> a	0,518 <sup>0,021</sup> a
	T3	25,46	24,57 <sup>0,26</sup> a	30,88 <sup>0,55</sup> a	0,519 <sup>0,026</sup> a
	T4	0	31,43 <sup>0,66</sup> b	31,43 <sup>0,66</sup> a	0,516 <sup>0,019</sup> a

\*Híbrido natural de *Eucalyptus urophylla*; \*\**Eucalyptus urophylla* × *E. camaldulensis*. Médias do mesmo clone seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste Scott-knott a 5%. T1: amostras avaliadas após um mês de secagem; T2: após dois meses de secagem; T3: após três meses de secagem; T4: condição anidra. Desvio padrão em sobrescrito.

**Tabela 5.** Análise imediata e poder calorífico superior do carvão produzido sob diferentes tratamentos.**Table 5.** Immediate analysis and gross calorific value of charcoal produced under different treatments.

Material	Tratamento	Materiais voláteis (%)	Cinzas (%)	Carbono Fixo (%)	Poder calorífico superior (cal/g)
GER 73402*	T1	20,45 <sup>0,33</sup> a	0,58 <sup>0,02</sup> a	78,97 <sup>0,89</sup> a	7399 <sup>145,3</sup> a
	T2	19,33 <sup>0,35</sup> a	0,45 <sup>0,03</sup> b	80,22 <sup>1,24</sup> a	7335 <sup>155,7</sup> a
	T3	19,60 <sup>0,36</sup> a	0,41 <sup>0,03</sup> b	79,99 <sup>1,36</sup> a	7321 <sup>136,7</sup> a
	T4	20,35 <sup>0,16</sup> a	0,49 <sup>0,04</sup> b	79,1 <sup>1,54</sup> a	7261 <sup>129,4</sup> b
MN 463*	T1	25,54 <sup>0,22</sup> a	0,39 <sup>0,02</sup> a	74,08 <sup>1,43</sup> a	7450 <sup>134,7</sup> a
	T2	23,76 <sup>0,23</sup> b	0,51 <sup>0,02</sup> b	75,73 <sup>1,35</sup> b	7513 <sup>147,5</sup> a
	T3	23,92 <sup>0,24</sup> b	0,37 <sup>0,03</sup> a	75,71 <sup>1,38</sup> b	7486 <sup>143,0</sup> a
	T4	23,95 <sup>0,26</sup> b	0,43 <sup>0,02</sup> c	75,62 <sup>1,28</sup> b	7460 <sup>126,3</sup> a
PEM 03698*	T1	26,07 <sup>0,31</sup> a	0,25 <sup>0,02</sup> a	73,68 <sup>1,35</sup> a	7495 <sup>147,3</sup> a
	T2	26,93 <sup>0,25</sup> a	0,37 <sup>0,03</sup> b	72,70 <sup>1,27</sup> a	7420 <sup>158,3</sup> a
	T3	24,07 <sup>0,22</sup> b	0,28 <sup>0,04</sup> a	75,66 <sup>1,39</sup> b	7440 <sup>137,4</sup> a
	T4	23,47 <sup>0,23</sup> b	0,66 <sup>0,03</sup> c	75,87 <sup>1,35</sup> b	7444 <sup>146,6</sup> a
VM 1**	T1	24,39 <sup>0,27</sup> a	0,74 <sup>0,02</sup> a	74,87 <sup>1,36</sup> a	7460 <sup>139,6</sup> a
	T2	22,82 <sup>0,30</sup> b	0,36 <sup>0,02</sup> b	76,82 <sup>1,28</sup> b	7544 <sup>143,5</sup> a
	T3	24,49 <sup>0,23</sup> a	0,38 <sup>0,03</sup> b	75,13 <sup>1,39</sup> a	7555 <sup>156,3</sup> a
	T4	22,79 <sup>0,25</sup> b	1,03 <sup>0,12</sup> c	76,18 <sup>1,30</sup> b	7633 <sup>153,0</sup> b
VM 3*	T1	23,52 <sup>0,26</sup> a	0,41 <sup>0,05</sup> a	76,07 <sup>1,25</sup> a	7565 <sup>165,1</sup> a
	T2	24,18 <sup>0,25</sup> a	0,19 <sup>0,03</sup> b	75,64 <sup>1,28</sup> a	7509 <sup>155,3</sup> a
	T3	24,58 <sup>0,21</sup> a	0,21 <sup>0,04</sup> b	75,21 <sup>1,24</sup> a	7605 <sup>145,3</sup> a
	T4	23,87 <sup>0,26</sup> a	0,36 <sup>0,02</sup> c	75,77 <sup>1,31</sup> a	7593 <sup>142,2</sup> a
VM 4*	T1	19,44 <sup>0,24</sup> a	0,60 <sup>0,04</sup> a	79,96 <sup>1,35</sup> a	7818 <sup>125,6</sup> a
	T2	20,83 <sup>0,23</sup> b	0,35 <sup>0,02</sup> b	78,82 <sup>1,56</sup> a	7516 <sup>148,6</sup> b
	T3	21,63 <sup>0,17</sup> b	0,46 <sup>0,02</sup> c	77,91 <sup>1,24</sup> b	7493 <sup>153,2</sup> b
	T4	24,23 <sup>0,21</sup> c	0,34 <sup>0,03</sup> b	75,43 <sup>1,36</sup> c	7476 <sup>149,7</sup> b
VM 5*	T1	25,43 <sup>0,21</sup> a	0,27 <sup>0,02</sup> a	74,30 <sup>1,31</sup> a	7450 <sup>136,9</sup> a
	T2	23,87 <sup>0,25</sup> b	0,22 <sup>0,03</sup> a	75,91 <sup>1,33</sup> b	7449 <sup>145,6</sup> a
	T3	23,59 <sup>0,19</sup> b	0,40 <sup>0,03</sup> b	76,01 <sup>1,44</sup> b	7449 <sup>143,6</sup> a
	T4	24,80 <sup>0,21</sup> a	0,43 <sup>0,04</sup> b	74,77 <sup>1,25</sup> a	7459 <sup>156,3</sup> a
<i>Corymbia citriodora</i>	T1	20,17 <sup>0,23</sup> b	0,75 <sup>0,02</sup> a	79,08 <sup>1,63</sup> a	7580 <sup>153,2</sup> a
	T2	19,96 <sup>0,22</sup> a	0,71 <sup>0,03</sup> a	79,32 <sup>1,53</sup> a	7599 <sup>135,6</sup> a
	T3	19,14 <sup>0,19</sup> a	0,80 <sup>0,03</sup> a	80,06 <sup>1,48</sup> a	7575 <sup>144,2</sup> a
	T4	20,81 <sup>0,18</sup> b	0,93 <sup>0,04</sup> b	79,26 <sup>1,52</sup> a	7587 <sup>138,5</sup> a
<i>Eucalyptus paniculata</i>	T1	22,02 <sup>0,21</sup> a	1,07 <sup>0,03</sup> a	76,91 <sup>1,41</sup> a	7361 <sup>155,4</sup> a
	T2	24,25 <sup>0,22</sup> b	1,03 <sup>0,04</sup> a	74,72 <sup>1,43</sup> b	7372 <sup>153,2</sup> a
	T3	22,61 <sup>0,24</sup> a	0,64 <sup>0,03</sup> b	76,75 <sup>1,36</sup> a	7449 <sup>148,6</sup> b
	T4	22,46 <sup>0,25</sup> a	1,20 <sup>0,01</sup> a	76,34 <sup>1,56</sup> a	7441 <sup>142,2</sup> b
<i>E. citriodora</i> × <i>E. torelliana</i>	T1	22,01 <sup>0,26</sup> a	1,51 <sup>0,03</sup> a	76,48 <sup>1,63</sup> a	7626 <sup>156,3</sup> a
	T2	21,98 <sup>0,24</sup> a	1,88 <sup>0,03</sup> b	76,14 <sup>1,29</sup> a	7680 <sup>144,5</sup> a
	T3	21,60 <sup>0,27</sup> a	1,83 <sup>0,04</sup> b	76,57 <sup>1,35</sup> a	7775 <sup>153,2</sup> b
	T4	21,71 <sup>0,28</sup> a	1,80 <sup>0,03</sup> b	77,49 <sup>1,44</sup> b	7781 <sup>154,2</sup> b

\*Híbrido natural de *Eucalyptus urophylla*; \*\**Eucalyptus urophylla* × *E. camaldulensis*. Médias do mesmo clone seguidas pela mesma letra minúscula não diferem pelo teste de Scott-knott a 5%. T1: amostras avaliadas após um mês de secagem; T2: após dois meses de secagem; T3: após três meses de secagem; T4: condição anidra. Desvio padrão em sobrescrito.

#### 4. CONCLUSÕES

Os materiais de *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus paniculata* e *C. citriodora* × *E. torelliana* apresentaram menor poder calorífico superior; entretanto, como

apresentaram menor umidade durante as avaliações, mostraram maior poder calorífico líquido, evidenciando como a secagem é importante para obtenção de materiais com maior valor energético. A umidade da madeira não influenciou o rendimento

gravimétrico na base seca, pois a mufla supriu a demanda energética para a retirada da água da madeira. Com base no rendimento gravimétrico na base úmida, os materiais com menor umidade inicial necessitaram de tempo de estocagem menor. Não foi encontrada relação da umidade da madeira com a química imediata e a densidade relativa aparente do material carbonizado na mufla.

## 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) e à Empresa V&M Florestal Ltda., pelo apoio financeiro.

## STATUS DA SUBMISSÃO

Recebido: 28 jan., 2013  
 Aceito: 06 maio, 2014  
 Publicado: 28 ago., 2014

## AUTOR(ES) PARA CORRESPONDÊNCIA

Antonio José Vinha Zanuncio  
 Departamento de Ciências Florestais,  
 Universidade Federal de Lavras – UFLA, CEP  
 37200-000, Lavras, MG, Brasil  
 e-mail: ajvzanuncio@yahoo.com.br

## REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. *NBR 8112*: análise imediata. Material volátil, cinzas, carbono fixo. Rio de Janeiro; 1983.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. *NBR 8633*: carvão vegetal. Determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro; 1984.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. *NBR 9165*: carvão vegetal. Determinação da densidade relativa aparente, relativa verdadeira e porosidade. Rio de Janeiro; 1985.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. *NBR 11941*: madeira. Determinação da densidade básica. Rio de Janeiro; 2003.
- Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas - ABRAF. Anuário estatístico ABRAF 2012: ano base 2011. Brasília; 2012.
- Berberovic A, Milota MR. Impact of wood variability on the drying rate at different moisture content levels. *Forest Products Journal* 2011; 61(6): 435-442. <http://dx.doi.org/10.13073/0015-7473-61.6.435>
- Brand MA, Muñiz GIB. Influência da época de colheita da biomassa florestal sobre sua qualidade para a geração de energia. *Scientia Forestalis* 2010; 38(88): 619-628.
- Brand MA, Muñiz GIB, Quirino WF, Brito JO. Storage as a tool to improve wood fuel quality. *Biomass and Bioenergy* 2011; 35(7): 2581-2588. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.02.005>
- Brand MA, Muñiz GIB. Influência da época de colheita e da estocagem na composição química da biomassa florestal. *Floresta e Ambiente* 2012; 19(1): 66-78. <http://dx.doi.org/10.4322/loram.2012.008>
- Castro AFMN, Castro RVO, Carneiro ACO, Lima JE, Santos RC, Pereira BLC et al. Análise multivariada para seleção de clones de eucalipto destinados à produção de carvão vegetal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 2013; 48(6): 627-635. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2013000600008>
- Monteiro TC, Lima JT, Trugilho PF. Energia armazenada nos resíduos do desdobro de toras de *Eucalyptus grandis*. *Ciência da Madeira* 2012; 3(1): 33-42. <http://dx.doi.org/10.12953/2177-6830.v03n01a04>
- Moutinho VHP, Couto AM, Lima JT, Aguiar OJR, Nogueira MOG. Energetic characterization of Matá-Matá wood from the brazilian rainforest (*Eschweilera Mart Ex Dc*). *Scientia Forestalis* 2011; 39(92): 457-461.
- Mugabi P, Rypstra T, Vermaas HF, Nel DG. Relationships between drying defect parameters and some growth characteristics in kiln-dried South African grown *Eucalyptus grandis* poles. *European Journal of Wood Products* 2010; 68(3): 329-340. <http://dx.doi.org/10.1007/s00107-009-0375-4>
- Rezende RN, Lima JT, Paula REL, Faria ALR. Secagem ao ar livre de toras de toras de *Eucalyptus grandis* em Lavras, MG. *Cerne* 2010a; 16(1): 41-47.
- Rezende RN, Lima JT, Silva JRM, Napoli A, Andrade HB, Faria ALR. Air drying of logs from *Eucalyptus urophylla* clone for carbonization use. *Cerne* 2010b; 16(4): 565-572.
- Rousset P, Figueiredo C, de Souza M, Quirino W. Pressure effect on the quality of eucalyptus wood charcoal for the steel industry: a statistical analysis approach. *Fuel Processing Technology* 2011; 92(10): 1890-1897. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.05.005>
- Santos RC, Carneiro ACO, Castro AFM, Castro RVO, Bianche JJ, Souza MM et al. Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e

---

---

do carvão vegetal de clones de eucalipto. *Scientia Forestalis* 2011; 39(90): 221-230.

Vale AT, Brasil MAM, Carvalho CM, Veiga RAA. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Naiden e *Acacia mangium* Willd em diferentes níveis de adubação. *Cerne* 2000; 6(1): 83-88.

Vale AT, Dias IS, Santana MAE. Relações entre propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies de cerrado. *Ciência Florestal* 2010; 20(1): 137-145.

Vital BR, Jesus RM, Valente OF. Efeito da constituição química e da densidade da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* na produção de carvão vegetal. *Revista Árvore* 1986; 10(2): 151-160.