

Propriedades mecânicas de amostras individualizadas da madeira e do carvão de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*Mechanical properties of individual samples of wood and charcoal from *Eucalyptus urophylla* and *Corymbia citriodora*Tais Regina Lima Abreu Veiga<sup>1</sup>, José Tarcísio Lima<sup>2</sup>, Thiago Campos Monteiro<sup>3</sup>, Anelise Lima de Abreu Dessimoni<sup>4</sup> e Maria Fernanda Veira Rocha<sup>5</sup>**Resumo**

Este trabalho teve como objetivo caracterizar mecanicamente amostras individuais da madeira e do carvão vegetal de *Corymbia citriodora* e de clones de *Eucalyptus urophylla*, por meio de ensaios de compressão paralela às fibras e de flexão estática, e ainda, correlacionar as propriedades da madeira com as do carvão produzido. Foram utilizadas 148 amostras, sendo que 74 foram destinadas à avaliação do carvão e 74 à avaliação da madeira. As amostras destinadas ao processo de carbonização foram submetidas a uma taxa de aquecimento de 0,5°C/min e temperatura final de 450°C. A madeira e o carvão de *C. citriodora* apresentaram valores superiores de densidade, rigidez, resistência à compressão e módulo de ruptura, quando comparados à madeira e ao carvão de *E. urophylla*, indicando ser mais adequados ao uso siderúrgico. O carvão vegetal apresentou forte correlação apenas com a densidade básica da madeira, sendo de média a baixa correlação com o restante das propriedades, mostrando que apenas a densidade básica da madeira pode ser utilizada para prever o comportamento mecânico do carvão vegetal.

**Palavras-chave:** *Eucalyptus*, carbonização, rigidez e resistência.

**Abstract**

This study aimed to characterize mechanically the wood and charcoal of individual pieces of *Corymbia citriodora* and *Eucalyptus urophylla* clones through parallel compression tests for fibers and static flexion, and to correlate the properties of the wood with that of the coal produced. 148 specimens were used, of which 74 were used for the evaluation of the charcoal and 74 for the evaluation of the wood. The test specimens for charcoal evaluation were carbonized at a heating rate of 0.5 °C/min and final temperature of 450 ° C. The wood and charcoal of *C. citriodora* showed significantly higher values of density, stiffness, compressive strength and modulus of rupture when compared to the wood and the charcoal of *E. urophylla*, indicating to be more suitable for the steel industry. The charcoal showed a strong correlation only with the basic density of the wood, having on average a low correlation with the rest of the properties, indicating that only the basic density of the wood can be used to predict the mechanical behavior of charcoal.

**Keywords:** *Eucalyptus*, carbonization, stiffness and resistance.

**INTRODUÇÃO**

O setor brasileiro de árvores plantadas ocupa 7,8 milhões de hectares, o que corresponde a 0,9% do território nacional, sendo responsável por até 91% de toda madeira produzida para fins industriais. Desse total de área plantada, 14% pertencem ao segmento de siderurgia a carvão vegetal. Em 2015, mais de 120 indústrias utilizavam carvão vegetal no processo de produção de ferro-gusa, ferro-liga e aço, registrando consumo de 4,6 milhões de toneladas, com queda de 13% em relação ao ano anterior, em detrimento da redução da atividade industrial brasileira (IBÁ, 2016).

<sup>1</sup>Mestranda em Ciência e Tecnologia da Madeira. UFPA – Universidade Federal de Lavras. Caixa Postal: 37 – 37200-000 – Lavras, MG, Brasil.

<sup>2</sup>Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais. UFPA – Universidade Federal de Lavras. Caixa Postal: 37 – 37200-000 – Lavras, MG, Brasil.

<sup>3</sup>Professor Adjunto do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. UFPR - Universidade Federal do Paraná. Av. Prefeito Lothario Meissner, 632 - Jardim Botânico - 80210170 - Curitiba, PR - Brasil.

<sup>4</sup>Doutorado em Agroquímica. UFPA – Universidade Federal de Lavras. Caixa Postal: 37 – 37200-000 – Lavras, MG, Brasil.

<sup>5</sup>Doutoranda em Ciência e Tecnologia da Madeira. UFPA – Universidade Federal de Lavras. Caixa Postal: 37 – 37200-000 – Lavras, MG, Brasil.

Mesmo com a queda de consumo registrada em 2015, o carvão continua sendo o insumo mais importante da indústria siderúrgica, onde suas funções são basicamente, fornecer energia na forma calor, recompor o poder redutor do dióxido de carbono, sustentação da carga de minério de ferro e permitir a percolação gasosa do leito.

Muitas pesquisas têm sido desenvolvidas com intuito de melhorar a qualidade do carvão, sobretudo envolvendo suas propriedades químicas e físicas, como por exemplo, o teor de carbono fixo, materiais voláteis, cinzas e a densidade (COUTO et al., 2015; PEREIRA et al., 2013; PROTÁSIO et al., 2013; 2014a; 2014b; REIS et al., 2012a, 2012b), no entanto, são escassos os estudos que buscam a caracterização mecânicas de peças individuais de carvão, mesmo sabendo que o entendimento dessa propriedade é fundamental para a qualidade e rendimento do aço produzido.

Existem algumas normas específicas de caracterização de carvão vegetal, onde as principais são ABNT NBR 7416 (ABNT, 1984) que discorre sobre a determinação do índice de quebra, e a ABNT NBR 8740 (ABNT, 1985) que determina o índice de quebra e abrasão. No entanto, não existe uma metodologia específica para avaliar a rigidez, resistência à compressão e módulo de ruptura em peças individuais, o que dificulta a padronização do teste.

Resultados encontrados na literatura sobre a resistência mecânica de peças individuais de carvão são raros e alguns datam de meados do século passado. Dentre esses, Araujo (1952) procurando desenvolver uma metodologia para testar peças individuais, usou amostras de 16 mm de diâmetro por 16 mm de altura para teste de compressão radial. Entretanto, o autor não fornece detalhamento completo a respeito dos testes realizados.

Segundo Vieira (2009), a dificuldade de avaliar as características mecânicas do material, deve-se principalmente ao fato do carvão ser um material quebradiço e heterogêneo, dificultando a confecção de corpos-de-prova isentos de defeitos.

Muitas são as dificuldades de se avaliar a resistência mecânica do carvão vegetal em peças individuais, sendo importante desenvolver métodos que possibilitem o controle da qualidade desse material de forma mais confiável. A caracterização mecânica de peças individuais é importante, tanto para a caracterização do material carvão, como para servir de referência para os valores obtidos em ensaios tradicionais, como o de queda e tamboramento, que geralmente são realizados em lotes de carvão, e não caracterizam individualmente a peça carbonizada e não garantem resultados precisos. Assim o objetivo deste trabalho foi caracterizar mecanicamente peças individuais da madeira e do carvão de *Corymbia citriodora* e de clones de *Eucalyptus urophylla* por meio de ensaios destrutivos, e correlacionar as propriedades da madeira com as do carvão produzido.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados três materiais genéticos, com sete anos de idade, sendo dois clones de híbridos naturais de *Eucalyptus urophylla* (VM4 e MN463) plantados no município de Paraopeba, MG e um de *Corymbia citriodora* plantado em Belo Oriente, MG.

Para o estudo foram confeccionadas 148 amostras livres de defeitos sendo retiradas das costaneiras das toras para a realização dos ensaios mecânicos. Das amostras, 74 foram destinadas à avaliação do carvão e o restante à avaliação da madeira.

As carbonizações foram realizadas com temperatura inicial de 100°C até 450°C, a uma taxa de aquecimento de 0,5°C/min. Esses parâmetros foram adotados conforme indicação de Vieira et al. (2013), para que as amostras fossem menos danificadas durante a carbonização.

Para a determinação da densidade básica das madeiras utilizou-se o método de imersão, de acordo com a NBR 11941 (ABNT, 2003), enquanto que a determinação da densidade aparente dos carvões baseou-se a Norma ASTM D 167-73.

Os ensaios mecânicos de compressão paralela às fibras e flexão estática na madeira foram realizados de acordo com a norma BS-373 (BS, 1957), e como não existe uma metodologia específica para tais ensaios em carvão, adaptou-se a mesma norma para determinar a rigidez e resistência no carvão vegetal. Para a obtenção do módulo de elasticidade e resistência à compressão paralela às fibras da madeira e do carvão foram confeccionadas amostras com seção transversal de 20 x 20 mm e altura de 100 mm, sendo que a aplicação de carga foi de 0,6 mm/min. Já as amostras destinadas à obtenção do módulo de elasticidade à flexão estática e módulo de ruptura da madeira e do carvão

possuíam seção transversal de 15 x 15 mm e comprimento de 230 mm e velocidade de aplicação de carga de 6,5 mm/min e vão de 180 mm (FIGURA1). Sabendo que a madeira sofre contrações ao ser carbonizada, após a confecção das amostras de carvão foram utilizadas lixas de madeira para ajustar tais dimensões e remover defeitos superficiais. Todos os ensaios mecânicos foram realizados na máquina universal de ensaios.



**Figura 1.** Imagens dos corpos de prova de madeira e carvão.  
**Figure 1.** Images of wood and charcoal proofs.

Após confeccionados, as amostras foram levadas para sala de climatização, estabilizada a 20°C de temperatura e 60% de umidade, por um período de 20 dias, após esse período as amostras foram pesados diariamente até não apresentarem variação na massa, indicando que as amostras estavam estabilizadas à umidade do ambiente.

As análises estatísticas foram realizadas com ao auxílio do programa Sisvar. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (Anova) e no caso de efeitos significativos foram efetuadas comparações de médias por teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro. Utilizou-se ainda o Software R para determinar o coeficiente de correlação de Pearson, a 5% de probabilidade pelo teste t de Student.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Caracterização das madeiras de *Corymbia citriodora* e de *Eucalyptus urophylla*

De acordo com os resultados da Tabela 1, nota-se que a madeira de *C. citriodora* apresentou densidade básica e propriedades mecânicas estatisticamente superiores aos dois clones de *Eucalyptus urophylla*, indicando ser mais adequada mecanicamente ao uso siderúrgico. Observa-se ainda que, os dois clones de *E. urophylla* não diferiram estatisticamente, tanto para a densidade como para as propriedades mecânicas.

**Tabela 1.** Densidade básica e propriedades mecânicas de amostras individualizadas da madeira de *Corymbia citriodora* e dos clones MN463 e VM4 de *Eucalyptus urophylla*, a 6% de umidade.

**Table 1.** Basic density and mechanical properties of individual samples of *Corymbia citriodora* and clones MN463 and VM4 of *Eucalyptus urophylla* wood, at 6% moisture content.

Material genético	DB (g.cm <sup>-3</sup> )	MOEc (MPa)	RC (MPa)	MOEf (MPa)	MOR (MPa)
<i>C. citriodora</i>	0,705 a	9852 a	65 a	9116 a	154 a
MN 463	0,563 b	7831 b	55 b	6654 b	118 b
VM 4	0,524 b	7484 b	55 b	6888 b	109 b

DB- Densidade básica da madeira; MOEc- Módulo de elasticidade em compressão paralela às fibras; RC- Resistência à compressão paralela às fibras; MOEf- Módulo de elasticidade em flexão estática; MOR-Módulo de ruptura. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey (P < 0,05)

A densidade básica da madeira é um dos fatores mais importantes a serem considerados para os seus diferentes usos, pois está muito correlacionada com as demais propriedades da madeira e a qualidade de seus produtos. No caso da produção de carvão vegetal, é desejável madeiras mais densa, uma vez que essa propriedade está diretamente relacionada com as características quantitativas e qualitativas do mesmo.

Zanuncio et al. (2013), analisando a secagem de toras de *Eucalyptus urophylla* e *Corymbia citriodora* para uso energético, aos 7 anos de idade, encontram densidade básica média de 0,518 g.cm<sup>-3</sup> para *Eucalyptus urophylla* e 0,706 g.cm<sup>-3</sup> para *Corymbia citriodora*. Couto et al. (2015) estudando a qualidade do carvão vegetal dos mesmos materiais genéticos produzido em diferentes temperaturas de carbonização, observaram valores de densidade básica variando de 0,471 a 0,606 g.cm<sup>-3</sup>.

A densidade básica da madeira de VM4 (0,524 g.cm<sup>-3</sup>), MN463 (0,563 g.cm<sup>-3</sup>) e *C. citriodora* (0,705 g.cm<sup>-3</sup>) encontram-se de acordo com as variações observadas pelos autores anteriormente citados. Nota-se ainda que, *C. citriodora* apresentou densidade superior aos outros materiais, indicando ser mais adequada à produção de carvão vegetal de uso siderúrgico.

Analisando as propriedades mecânicas (Tabela 1), o valor médio de módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras (MOEc) das madeiras de *Eucalyptus urophylla* (VM 4 e MN 463) e *Corymbia citriodora* a 6% de umidade foram 7484, 7831 e 9852 MPa, respectivamente. Esses resultados são compatíveis com os encontrados por Cruz et al. (2003), Hein e Campos (2009) e Vieira (2009) que relataram valores entre 6600 MPa e 9000 MPa, aproximadamente, dependendo da idade das árvores, local de plantio e método de determinação.

O módulo de elasticidade à flexão estática (MOEf) da madeira a 6% de umidade variou de 6654 a 9116 Mpa (Tabela 1). Na literatura são relatados valores variando de 8768 a 9750 MPa (Cruz et al., 2003; Lima et al., 2000), corroborando com resultados encontrados neste trabalho.

A resistência à compressão paralela às fibras (RC) da madeira a 6% de umidade encontram-se entre 55 e 65 MPa (Tabela 1). Alguns autores encontraram valores desta propriedade variando de 46,6 a 54,5 MPa (CRUZ et al., 2003; HEIN; CAMPOS, 2009; MOURA, 2000; VIEIRA, 2009).

O módulo de ruptura (MOR) da madeira dos três materiais genéticos a 6% de umidade variou de 109 a 154 MPa (Tabela 1). Em alguns estudos são relatados valores inferiores, variando de 90 a 107 MPa (CRUZ et al., 2003; LIMA et al., 2000; VIEIRA, 2009).

Diante de todas as propriedades mecânicas analisadas, observa-se que a madeira de *C. citriodora* apresentou resultados superiores aos dos clones de *E. urophylla*. Tal fato pode estar associado à elevada densidade básica do material, uma vez que, quanto maior for a massa específica da madeira, maiores serão suas propriedades mecânicas e elásticas, com exceção em casos de defeitos e variações anatômicas expressivas.

De modo geral, os três materiais genéticos apresentaram resultados semelhantes aos relatados na literatura, com exceção do módulo de ruptura que apresentou valores superiores, mostrando-se potenciais para a utilização siderúrgica.

Caracterização do carvão de *Corymbia citriodora* e de *Eucalyptus urophylla*

Da mesma forma como ocorreu na madeira, os carvões de *C. citriodora* apresentaram comportamento diferenciado, tanto para as propriedades físicas como para as mecânicas, em relação aos outros materiais genéticos (Tabela 2).

**Tabela 2.** Densidade aparente e propriedades mecânicas de amostras individualizadas do carvão de *Corymbia citriodora* e dos clones de *Eucalyptus urophylla*.

**Table 2.** Apparent density and mechanical properties of individual samples of charcoal of *Corymbia citriodora* and *Eucalyptus urophylla* clones.

Material genético	DRA (g.cm <sup>-3</sup> )	MOEc (MPa)	RC (MPa)	MOEf (MPa)	MOR (MPa)
<i>C. citriodora</i>	0,523 a	575 a	3,7 a	1585 a	5,05 a
MN 463	0,382 b	411 b	3,2 b	1007 b	3,82 b
VM 4	0,334 b	414 b	3,1 b	753 b	2,23 b

DRA- Densidade aparente do carvão; MOEc- Módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; RC- Resistência à compressão paralela às fibras; MOEf- Módulo de elasticidade à flexão estática; MOR- Módulo de ruptura. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey (P < 0,05).

A densidade aparente do carvão vegetal de *C. citriodora* (0,523 g.cm<sup>-3</sup>) foi estatisticamente superior aos carvões dos clones VM4 (0,334 g.cm<sup>-3</sup>) e MN463 (0,382 g.cm<sup>-3</sup>). Na literatura há relatos de densidade aparente do carvão variando de 0,25 a 0,520 g.cm<sup>-3</sup> para o carvão vegetal de vários clones e espécies de *Eucalyptus* (NEVES et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2010; SANTOS et al., 2010; TRUGILHO et al., 2005), corroborando com os resultados apresentados na Tabela 2.

Vital et al. (1986) afirmam que existe uma positiva correlação entre a densidade relativa aparente do carvão e a densidade básica da madeira que lhe deu origem. Segundo Couto et al. (2015), materiais que apresentam maior densidade básica produzem carvão vegetal mais rígido e resistente quando carbonizados, uma vez que, quanto maior a densidade, maior é o número de cadeias carbônicas por unidade de volume, conseqüentemente maior será as propriedades mecânicas. Além disso, carvões mais densos aparentam, visualmente, possuir menor quantidade de fissuras, o que certamente contribui com a melhoria de suas propriedades mecânicas (COUTO et al., 2015).

De acordo com a Tabela 2, o carvão de peças individualizadas de *Corymbia citriodora* apresentou maiores valores de rigidez e resistência, quando comparado aos clones de *Eucalyptus urophylla*, concordando com o que foi descrito por Couto et al. (2015), uma vez que, as madeiras de *C. citriodora* apresentaram maior densidade e propriedades mecânicas.

Ao relacionar-se as propriedades mecânicas da madeira com as do carvão, pode-se observar que o módulo de elasticidade a compressão paralela às fibras do carvão foi 18 vezes menor, enquanto que a resistência à compressão foi 17 vezes menor. Essa redução da resistência e da rigidez, possivelmente é devido à formação de rachaduras e fissuras durante o processo de carbonização, além de rupturas de ligações de hidrogênio e de ligações covalentes e da degradação de microfibrilas de celulose que conferem elasticidade à madeira (VEIGA et al., 2016).

O módulo de elasticidade em compressão paralela às fibras (MOEc) em peças individuais de carvão variou de 411 a 575 MPa (Tabela 2). Já Vieira (2009), em um estudo com dois clones de *Eucalyptus urophylla* e para temperaturas finais de carbonização igual a 450°C, encontrou valores de MOEc entre 410 e 624 MPa.

A resistência do carvão à compressão paralela às fibras (RC) de *Corymbia citriodora* foi 3,7 MPa, enquanto que o clones de *E. urophylla* (VM4 e MN463), apresentaram em média 3,1 e 3,2 MPa, respectivamente. Araujo (1952) em seu estudo com *Eucalyptus* obteve resultados de RC de peças individuais de 3,24 a 5,49 MPa, enquanto que Vieira (2009), usando temperatura final de carbonização igual a 450°C obteve resultados entre 84 a 110 MPa, valores estes, aproximadamente, 27 vezes maior que os encontrados neste trabalho (Tabela 2).

Moutinho (2013) estudando carvão vegetal produzido de madeiras de *Eucalyptus* e *C. citriodora* com idades entre cinco e seis anos, e temperatura final de carbonização igual a 400°C, encontrou valores de RC do carvão variando de 7,32 a 15,69 MPa e módulo de elasticidade variando entre 316 MPa e 737 MPa. De acordo com a Tabela 2, MOEc encontrado neste trabalho encontra-se no intervalo descrito acima, porém a RC é inferior à relatada por Moutinho (2013).

### Relação entre as propriedades da madeira e do carvão

É possível que haja correlações entre as diferentes propriedades físicas e mecânicas da madeira e do carvão, assim, na Tabela 3 podem-se observar os coeficientes de correlação de Pearson para as diferentes propriedades analisadas. Em negrito estão representados os coeficientes significativos a 5% de probabilidade pelo teste t de Student.

**Tabela 3.** Coeficientes de correlação de Pearson entre as propriedades físicas e mecânicas da madeira e do carvão.  
**Table 3.** Pearson correlation coefficients between the physical and mechanical properties of wood and charcoal.

Propriedades	MOE Madeira	RC Madeira	MOE Carvão	RC Carvão	DRA carvão	DB Madeira
MOE Madeira	1					
RC Madeira	<b>0,898</b>	1				
MOE Carvão	<b>0,455</b>	0,350	1			
RC Carvão	<b>0,514</b>	0,393	<b>0,607</b>	1		
DRA carvão	<b>0,765</b>	<b>0,652</b>	<b>0,583</b>	<b>0,633</b>	1	
DB Madeira	<b>0,732</b>	<b>0,673</b>	<b>0,487</b>	<b>0,457</b>	<b>0,932</b>	1

MOE- Módulo de elasticidade; RC- Resistência a compressão; DRA- Densidade relativa aparente; DB- densidade básica; em negrito correlações significativas a nível de 5% de significância.

Assim como relatado por Brito e Barrichelo (1980), existe uma alta e positiva correlação entre a densidade básica da madeira e do carvão ( $r = 0,932$ ), tornando-se importante no processo de seleção de espécies para produção de carvão vegetal, uma vez que quanto mais densa a madeira mais energética ela será (Tabela 3).

De acordo com a Tabela 3, há uma alta correlação entre a resistência e a rigidez da madeira ( $r = 0,898$ ), no entanto, uma relação bem inferior foi encontrada para a resistência e rigidez do carvão ( $r = 0,607$ ). A correlação entre a resistência à compressão da madeira com o módulo de elasticidade (MOE) à compressão do carvão foi baixa e não significativa ( $r = 0,350$ ) (Tabela 3), mostrando que essa característica da madeira não necessariamente responde na resistência do carvão produzido.

Observa-se ainda que, existe alta correlação entre a densidade básica da madeira e sua rigidez ( $r = 0,732$ ), porém baixas correlações foram encontradas para rigidez ( $r = 0,487$ ) e resistência do carvão ( $R^2 = 0,457$ ). Garcia e Adorno (2003) não encontraram correlação significativa entre a densidade básica da madeira de *Eucalyptus* com as suas propriedades mecânicas, incluindo a resistência à compressão. Já Haselein et al. (2002) afirmam que existe uma estreita correlação entre massa específica da madeira e as propriedades mecânicas.

Quando se analisa as relações estabelecidas pelas propriedades do carvão vegetal (Tabela 3), pode-se observar leve dependência entre as mesmas, mostrando que a densidade aparente do carvão vegetal possui relação de média intensidade com o MOE ( $r = 0,583$ ).

Baixas relações foram encontradas entre o módulo de elasticidade da madeira e do carvão ( $r = 0,455$ ), e entre a resistência da madeira e a do carvão ( $0,393$ ), indicando que valores altos dessas correlações na madeira não implicam em valores altos no carvão.

De modo geral, e diferentemente da madeira, o carvão vegetal apresentou forte correlação apenas com a densidade básica da madeira, sendo de média a baixa correlação com o restante das propriedades. Isso indica que apenas a densidade básica da madeira poderá prever o comportamento mecânico do carvão vegetal.

## CONCLUSÕES

As madeiras e os carvões da espécie *Corymbia citriodora* apresentaram maior densidade, rigidez, resistência à compressão paralela às fibras e módulo de ruptura do que os materiais de *Eucalyptus urophylla*, mostrando-se ser mais adequada ao uso siderúrgico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11941 – Madeira – Determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8740 - Carvão Vegetal - Determinação do índice de quebra e abrasão. Rio de Janeiro, 1985. 4 p

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7416 – Carvão Vegetal - Determinação do índice de Quebra. Rio de Janeiro, 1984. 9 p.

ARAÚJO, J. B. Carvão vegetal para alto-fornos. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1952. 135 p. (Bulletin 36).

BS - BRITISH STANDARDS INSTITUTION. BS 373:(1957) - Methods of testing small clear specimens of timber. London, 1957. 31 p.

BRITO, J. O., BARRICHELO, L. E. G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão. IPEF, Piracicaba, n. 20, p.101-113, 1980.

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 Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 108, p. 817-831, 2015.

CRUZ, C. R.; LIMA, J. T.; MUNIZ, G. I. B.; Variações dentro das árvores e entre clones das propriedades físicas e mecânicas da madeira de híbridos de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 64, p. 33-47, 2003.

GARCIA, J. N., ADORNO, M. F.C. Correlações lineares entre as principais características tecnológicas da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 63, p. 44-53, 2003.

HASELEIN, C. R., BERGER, R., GOULART, R., STHAL, J., TREVISAN, R., SANTINI, E. J., LOPES, M. C. Propriedades de flexão estática da madeira úmida e a 12% de umidade de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob efeito do espaçamento e da adubação. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 147-152, 2002.

HEIN, P. R. G.; CAMPOS, A. C. M. Estimativa da resistência e da elasticidade à compressão paralela às fibras da madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla* usando a espectroscopia no infravermelho próximo. **Scientia Forestalis**, v. 37, n. 82, p. 119-129, 2009.

IBA - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Anuário estatístico da IBÁ**: ano base 2016. Brasília: IBÁ, 2016. 100 p.

LIMA, J. T.; BREESE, M. C.; CAHALAN, C. M. Genotype-environment interaction in Wood basic density of *Eucalyptus* clones. New York: **Wood Science and Technology**, New York, v. 34, n. 3, p. 197-206, 2000.

MOURA, M. C. O. **Variações em características de crescimento e da Madeira em clones de *Eucalyptus***. 2000. 63 p. Tese (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

MOUTINHO, V.H.P.; **Influência da variabilidade dimensional e da densidade da madeira de *Eucalyptus* sp. e *Corymbia* sp. na qualidade do carvão**. 2013. 164 p. Thesis (Doctorate in Natural Resources) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

NEVES, T. A.; PROTÁSIO, T.P.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; VIEIRA, C. M. M. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 319-330, 2011.

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, 2010.

PEREIRA, B. L. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CARVALHO, A. M. M. L.; COLODETTE, G. L.; OLIVEIRA, A. C.; FONTES, M. P. F. Influence of chemical composition of *Eucalyptus* wood on gravimetric yield and charcoal properties. **Bioresources**, Raleigh, v. 8, n. 3, p. 4574-4592, 2013.

PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; REIS, A. A.; GODINHO, T. P.; TRUGILHO, P. F. 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, 2013.

PROTÁSIO, T. P.; GOULART, S. L.; NEVES, T. A.; TRUGILHO, P. F.; RAMALHO, F. M. G.; QUEIROZ, L. M. S. B. Qualidade da madeira e do carvão vegetal oriundos de floresta plantada em Minas Gerais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 34, n. 78, p. 111-123, 2014a.

PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; SILVA, M. G.; COUTO, A. M. Mass and energy balance of the carbonization of babassu nutshell as affected by temperature. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 3, p. 189-196, 2014b.

REIS, A. A.; MELO, I. C. N. A.; PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; CARNEIRO, A. C. Efeito de local e espaçamento na qualidade do carvão vegetal de um clone de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 4, p. 497-505, 2012a.

REIS, A. A.; PROTÁSIO, T. P.; MELO, I. C. N. A.; TRUGILHO, P. F.; CARNEIRO, A. C. Composição da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus urophylla* em diferentes locais de plantio. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 71, p. 277-290, 2012b.

SANTOS, R. C. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de Eucalipto**. 2010. 159 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia) – Universidade federal de Lavras, Lavras, 2010.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, J. R. M.; MORI, F. A.; LIMA, J. T.; MENDES, L.M.; MENDES, L. F. B. Rendimentos e características do carvão vegetal em função da posição radial de amostragem em clones de *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 178-186, 2005.

VEIGA, T. R. L. A.; LIMA, J. T.; MONTEIRO, T. C.; ROCHA, M. F. V.; JESUS, M. S.; GOULART, S. L. Efeito do comprimento do corpo de prova nas propriedades mecânicas do carvão de *Eucalyptus*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 88, p. 399–406, 2016.

VIEIRA, R. S. **Propriedades mecânicas da madeira de clones de *Eucalyptus* e do carvão produzido entre 350°C e 900°C**. 2009. 80 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

VIEIRA, R. S.; LIMA, J. T.; MONTEIRO, T. C.; SELVATTI, T. S.; BARAÚNA, E. E. P.; NAPOLI, A. Influencia da temperatura no rendimento dos produtos da carbonização de *Eucalyptus microcorys*. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 1, p. 59-64, 2013.

VITAL, B. R. Efeito da constituição química e da densidade da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* na produção de carvão vegetal. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 10, n. 2, p. 151-160, 1986.

ZANUNCIO, A. J. V.; LIMA, J. T.; MONTEIRO, T. C.; CARVALHO, A. G.; TRUGILHO, P. F. Secagem de toras de *Eucalyptus* e *Corymbia* para uso energético. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 99, p. 353-360, 2013.

Recebido em 23/03/2017

Aceito em 22/09/2017