

CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DE DIFERENTES ESPÉCIES DE EUCALYPTUS

Márcia Silva de Jesus^{1*}, Luciano Junqueira Costa¹, Juliana Ceccato Ferreira¹, Fabiana Paiva de Freitas¹, Larissa Carvalho Santos¹, Maria Fernanda Vieira Rocha¹

¹ Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Florestal, Viçosa, Minas Gerais, Brasil, eng-marcia@hotmail.com*; junqueira@hotmail.com ; cf.juliana@yahoo.com.br; fabianapf@hotmail.com; lari.carvalho@ufv.br

² Universidade Federal de Lavras, Departamento de Engenharia Florestal, Lavras, Minas Gerais, Brasil, mfvrocha@yahoo.com.br

Recebido para publicação: 09/09/2016 – Aceito para publicação: 02/01/2017

Resumo

Objetivou-se realizar a caracterização energética de espécies de eucalipto para a produção de carvão vegetal. As espécies utilizadas foram *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus propinqua*, *Eucalyptus robusta*, *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus botryoides*. Avaliou-se o poder calorífico, densidades básica e energética, o rendimento gravimétrico e a análise química imediata do carvão vegetal. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com 3 repetições. A unidade experimental foi a tora, em que coletou-se discos com 5 cm de espessura, localizados à 0, 25, 50, 75 e 100% da altura total da árvore. As carbonizações foram realizadas em forno elétrico com temperatura final de 380 °C. Realizou-se a ANOVA, teste *Tukey* e correlação segundo Pearson, todos a 5,0% de probabilidade. O poder calorífico da madeira e o rendimento não se diferiram significativamente entre as espécies em estudo. Os rendimentos médios encontrados foram de 39,65% em carvão e 21,06% em gases não condensáveis. O *Eucalyptus robusta* apresentou características energéticas semelhantes ao híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, exceto pelas densidades, que naquele foram superiores. A densidade energética da madeira aumentou proporcionalmente à densidade básica, sendo que, a madeira mais densa apresentou maior quantidade de energia disponível. Conclui-se que, as características potenciais (PCS, Db e De) na produção de carvão vegetal foram evidenciadas em todas as espécies, no entanto, o *Eucalyptus robusta* foi a espécie mais promissora para fins energéticos para ser utilizada como biorredutor.

Palavras-chave: Biomassa; carvão vegetal; Fonte renovável.

Abstract

Energy characterization of different species of Eucalyptus. This study aimed to carry out energy characterization of Eucalyptus species for charcoal production. The species used were *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus propinqua*, *Eucalyptus robusta*, *Eucalyptus pellita* and *Eucalyptus botryoides*. The calorific value, basic and energetic densities, gravimetric yield and the immediate chemical analysis of charcoal were evaluated. The experiment was conducted in a completely randomized design with three replications. The experimental unit was the log, where 5 cm thick discs were collected at 0, 25, 50, 75 and 100% of the total height of the tree. The carbonization were carried out in an electric furnace with a final temperature of 380°C. Were evaluated the calorific power, basic and energy densities, yields of carbonization and chemical analysis. Were realized ANOVA, *Tukey* test and Pearson correlation, all at 5.0% probability. Calorific power of the wood and the carbonization yields did not differ significantly between the species under study. The average yields were 39.65% in coal and 21.06% in non-condensable gases. *Eucalyptus robusta* showed characteristics similar to the hybrid of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, except for densities that were higher in first. The energy density of wood increases with increasing density, denser wood has a higher amount of energy available. It is concluded that the potential characteristics (PCS, Db and De) in charcoal production were evidenced in all species, however, *Eucalyptus robusta* was the most promising species for energy purposes to be used as a bioreductor.

Keywords: Biomass; charcoal; renewable source.

INTRODUÇÃO

O uso racional de recursos renováveis paralela à redução do consumo de combustíveis fósseis somado à exploração de madeiras oriundas de florestas nativas tem motivado o desenvolvimento de pesquisas, tecnologias e plantios comerciais de espécies com rápido crescimento como *Eucalyptus* e *Pinus*.

A biomassa ligno-celulósica é a mais abundante no planeta e pode ser utilizada como matéria-prima para diversos produtos industriais, estimulando uma série de pesquisas biotecnológicas (LU *et al.*, 2008). Trata-

se uma fonte renovável utilizada como insumo energético de forma primária ou secundária, por meio de sua transformação em carvão vegetal.

O carvão vegetal como biorredutor tende a apresentar uma baixa densidade energética em relação aos combustíveis fósseis (MÜLLER *et al.*, 2005). Por outro lado, normalmente, o uso de fontes não renováveis para a produção de energia aumenta os teores de enxofre, causador da chuva ácida, e de dióxido de carbono na atmosfera, principal gás do efeito estufa (DI BLASI *et al.*, 2008).

A utilização da madeira como combustível para se obter energia é um processo simples. O rendimento energético da combustão da madeira depende de sua constituição química, variando de espécie para espécie, tornando-se um importante parâmetro de seleção. Segundo a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ) (2015), 15,2% da área de plantios florestais com *Eucalyptus* são destinadas à siderurgia e carvão vegetal, sendo o Brasil o maior produtor mundial desse produto, apesar de ainda haver algumas limitações de ordem econômica e técnica na produção dessa biomassa energética (MÜLLER *et al.*, 2005).

A seleção de materiais genéticos superiores, adequados às determinadas condições de sítio, é fundamental para melhor aproveitamento da biomassa como lenha e/ou como biorredutor. Por exemplo, madeiras que apresentam baixo teor de cinzas, elevado teor de lignina e densidade básica proporcionam melhor qualidade e rendimento do carvão vegetal (NEVES *et al.*, 2011; TRUGILHO *et al.*, 2009).

A oferta de contribuições para se ampliar a base de conhecimentos na área da aplicação energética da madeira é cada vez mais indispensável, o que tem despertado o interesse de pesquisadores e técnicos em todas as áreas vinculadas à atividade florestal no Brasil. É na perspectiva de tal fato que se desenvolveu a presente pesquisa, com o objetivo de realizar a caracterização energética de espécies de eucalipto para a produção de carvão vegetal, em comparação ao híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado com cinco espécies do gênero *Eucalyptus* aos seis anos de idade. Após o corte e secagem em campo, foram selecionadas aleatoriamente três toras por material genético, totalizando 15 unidades. Adotou-se delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Os tratamentos foram assim constituídos: T1 – *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, T2 – *Eucalyptus propinqua* H. Deane & Maiden, T3 – *Eucalyptus robusta* Sm., T4 – *Eucalyptus pellita* F. Muell e T5 – *Eucalyptus botryoides* Sm.. A unidade experimental foi a tora, sendo que, de cada uma delas coletou-se discos com 5 cm de espessura, localizados à 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial, cujo diâmetro mínimo foi de 5 cm. Os discos foram transformados em cunha, que foram processadas e posteriormente moídas, formando uma amostra composta da tora.

O poder calorífico superior (PCS, kcal kg⁻¹) foi obtido em calorímetro, seguindo a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas 8633 (1984). O poder calorífico inferior, base seca, também foi estimado.

Na a determinação da densidade básica (Db, g cm⁻³) da madeira foram seguidos os procedimentos recomendados pela norma M14/70 (ABTCP, 1968). A densidade energética (De, kcal m⁻³) foi obtida conforme Equação 1.

$$De = Db \cdot PCS \quad (\text{Eq.1})$$

em que: *De* é a densidade energética (kcal m⁻³); *Db* é a densidade básica (g cm⁻³); *PCS* é o poder calorífico superior (kcal kg⁻¹).

Para se obter o carvão vegetal, as cunhas foram inseridas em estufa a temperatura de 103 ± 2 °C, até atingir massa constante. As carbonizações foram realizadas em forno elétrico (mufla) adaptado com controle de temperatura automático e incrementos de 0,5 °C.min⁻¹ até atingir temperatura máxima de 380 °C (temperatura inicial de 100 °C), permanecendo estabilizada por um período de 60 minutos. Procedeu-se com a recuperação do licor pirolenhoso, mediante condensação dos gases gerados no processo.

Após cada carbonização, foram determinados em relação à madeira anidra o rendimento gravimétrico em carvão (RGC, %), em líquido pirolenhoso (RLP, %), e em gases não condensáveis (RGNC, %) por meio das Equações 2, 3 e 4 respectivamente.

$$RGC_{\%} = (Mc/Mm) \cdot 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

$$RLP_{\%} = (Ml/Mm) \cdot 100 \quad (\text{Eq. 3})$$

$$RGNC_{\%} = 100 - (RGC - RLP) \quad (\text{Eq. 4})$$

em que: *RGC*_% é o rendimento gravimétrico de carvão (%); *RLP*_% é o rendimento em líquido pirolenhoso (%); *RGNC*_% é o rendimento em gases não condensáveis (%); *Mc* é a massa do carvão (g); *Mm* é a massa seca da madeira (g); *Ml* é a massa do líquido pirolenhoso (g).

Foi realizada a análise imediata do carvão para determinar os teores de material volátil (MV, %), de cinzas (CZ, %) e de carbono fixo (CF, %), de acordo com os procedimentos da norma NBR 8112 (ABNT, 1986).

Os dados foram submetidos aos testes de *Lilliefors* e de *Cochran* para avaliar a normalidade e homogeneidade de variâncias. Realizou-se a análise de variância, teste *Tukey* e análise de correlação linear segundo *Pearson*. Em todas as análises estatísticas adotaram-se 5,0% de probabilidade e utilizou-se o programa SISVAR® (FERREIRA, 2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os dados apresentaram normalidade e homogeneidade de variâncias. Na tabela 1 são apresentadas as médias de poder calorífico e densidades. Os baixos coeficientes de variação (menores que 10,0%) evidenciaram a precisão experimental. É importante salientar que o PCS e o PCI variaram pouco dentro de um mesmo gênero, sendo que o uso do poder calorífico inferior é importante porque não inclui o calor latente da água presente nos produtos de combustão, ou seja, é a quantidade real de energia produzida pela combustão completa do material (em base seca).

Tabela 1. Médias de poder calorífico, densidade básica e densidade energética de espécies do gênero *Eucalyptus* aos seis anos de idade.

Table 1. Average values of calorific power, basic density and energy density of *Eucalyptus* species at six years old.

Tratamentos	PCS	PCI	Db	De
	----- kcal kg ⁻¹ -----	-----	---- g cm ⁻³ ----	----kcal m ⁻³ ----
T1	4538 a	4234 a	0,374 b	1402 b
T2	4623 a	4319 a	0,406 ab	1553 ab
T3	4669 a	4365 a	0,418 a	1617 a
T4	4634 a	4330 a	0,466 a	1788 a
T5	4620 a	4316 a	0,391 b	1495 b
CV _{exp} (%)	1,13	1,21	6,87	6,80

Legenda: PCS, poder calorífico superior; PCI, poder calorífico inferior; Db, densidade básica; De, densidade energética; CV_{exp} = coeficiente de variação experimental. Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam pelo teste *Tukey* ($p > 0,05$).

Estatisticamente, o poder calorífico do híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* foi semelhante às demais espécies de eucalipto (T2, T3, T4 e T5), assim a quantidade de energia térmica liberada pela oxidação dessas biomassas são similares. Valores encontrados nesse trabalho para o poder calorífico superior e inferior estão coerentes aos relatados na literatura para a madeira de *Eucalyptus* (BRAND *et al.*, 2011; SANTOS *et al.*, 2016; BRAND; MUÑIZ *et al.*, 2010).

A densidade energética, que se relaciona à energia contida em um dado volume de madeira, foi maior nos tratamentos com o T2 e T3, portanto, superiores ao híbrido T1 (Tabela 1). Ocorreu a mesma tendência observada para a densidade básica da madeira. Os valores de Db destes materiais genéticos estão coerentes à faixa ideal para a produção de carvão vegetal, entre 0,4 a 1,2 g cm⁻³ (SILVA, 2001). Ressalta-se que é desejável uma madeira de elevada densidade básica, devido à maior massa do carvão vegetal produzido em um mesmo volume (NEVES *et al.*, 2011).

As espécies de *Eucalyptus* foram estatisticamente semelhantes quanto aos rendimentos de carvão vegetal, observa-se também baixos coeficientes de variação amostral, o que sugere alta precisão das análises efetuadas, conforme apresentado na tabela 2. O rendimento médio em licor pirolenhoso (RLP) foi de 39,58% já o rendimento médio em gases não condensáveis foi de 20,77%, corroborando com outros trabalhos encontrados na literatura (SOARES *et al.*, 2014; NEVES *et al.*, 2011; ELYOUNSSI *et al.*, 2010). Na literatura há diversos estudos (ARANTES *et al.*, 2013; SOARES *et al.*, 2014) com rendimento em carvão superior a 30%, o que são valores desejados pelas indústrias, o que comprova o potencial das espécies T2, T3, T4 e T5, assim como o híbrido T1 para produção de carvão. Os rendimentos gravimétricos são sensivelmente influenciados tanto pela matéria prima quanto pelos parâmetros do processo como a temperatura e taxa de aquecimento. Segundo Elyounssi *et al.* (2010) e Vieira *et al.* (2013) o rendimento gravimétrico é sensivelmente influenciado por parâmetros de processo como a temperatura e quanto maior a temperatura final, menor o rendimento em massa, em razão do maior grau de volatilização da matéria orgânica, que resulta em menor rendimento em carvão vegetal e acréscimo nos rendimentos em líquido pirolenhoso. Sendo que a intensa degradação térmica não é interessante quando compromete a produção em rendimento do carvão.

Tabela 2. Médias de rendimento gravimétrico de carvão, rendimento em líquido pirolenhoso e rendimento em gases não condensáveis de espécies do gênero *Eucalyptus* aos seis anos de idade.

Table 2. Average values of gravimetric yield coal, pyrolygneous liquid yield and non-condensable gases yield of *Eucalyptus* species at six years old.

Tratamentos	RGC	RLP		RGNC
		----- % -----		
T1	39,33 a	38,75 a	21,92 a	
T2	39,82 a	40,48 a	19,70 a	
T3	40,16 a	40,01 a	19,83 a	
T4	39,37 a	39,28 a	21,35 a	
T5	39,57 a	39,37 a	21,06 a	
CV _{exp} (%)	1,57	1,57	3,89	

Legenda: RGC é o rendimento gravimétrico do carvão; RLP é o rendimento em licor pirolenhoso; RGNC é o rendimento em gases não condensáveis. CV_{exp} é o coeficiente de variação experimental. Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam pelo teste Tukey (p > 0,05).

Ao analisar o carvão vegetal produzido, foi observado conforme a tabela 3, que o T2 apresentou maior teor de materiais voláteis e menor teor em carbono fixo. O elevado teor de materiais voláteis não é desejável nas siderurgias, já que esse material compreende a parte do combustível que se evapora quando é aquecido a altas temperaturas e após a evaporação, misturam-se com o oxigênio do ar e entram em combustão, tornando-os mais instáveis termicamente.

Tabela 3. Médias dos teores de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo de espécies do gênero *Eucalyptus* aos seis anos de idade.

Table 3. Average values of volatiles materials level, ashes level and fixed carbon level of *Eucalyptus* species at six years old.

Tratamentos	MV	CZ		CF
		----- % -----		
T1	25,98 c	1,43 a	72,59 a	
T2	35,54 a	1,34 a	63,12 c	
T3	26,49 c	2,82 a	70,69 ab	
T4	29,60 b	0,68 a	69,72 b	
T5	27,16 bc	2,25 a	70,58 ab	
CV _{exp} (%)	1,90	2,24	0,79	

Legenda: MV é o material volátil; CZ é o teor de cinzas; CF é o teor de carbono fixo. CV_{exp} = coeficiente de variação experimental. Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam pelo teste Tukey (p > 0,05).

Na tabela 3 pode-se observar que, embora a variabilidade na análise química imediata tenha sido baixa (média de 1,64 %), o teor de cinzas apresentou maior coeficiente de variação. Segundo Souza *et al.* (2012), isso pode ser explicado em razão do menor valor numérico das cinzas em relação ao material volátil e carbono fixo. Observou-se que todos os materiais genéticos são estatisticamente iguais para o teor de cinzas. Segundo Santos (2016) para uso siderúrgico é indicado teores de cinzas no carvão inferior a 1%, para evitar contaminação e redução do seu poder calorífico, uma vez que causa desgaste no alto-forno e pode comprometer a qualidade do ferro-gusa com consequentes formações de trincas e fissuras.

Os maiores teores de carbono fixo foram observados para o híbrido de T1, T3 e T5. A partir da premissa que o percentual de carbono fixo refere-se à fração de carvão que se queima no estado sólido, combustíveis com teores elevados de carbono fixo são preferíveis para uso siderúrgico, devido à estabilidade térmica e elevado poder energético (NEVES *et al.*, 2011).

Na tabela 4 estão apresentadas as correlações entre as variáveis estudadas. Considerou-se que duas variáveis possuem associação entre si quando o coeficiente de correlações foi significativo a 5,0 % de probabilidade. A correlação da densidade básica em relação a densidade energética foi positiva ($r_{y\hat{y}} = 1,0$) e alta (maior que 0,8), ou seja, madeiras de maior densidade básica apresentaram maior densidade energética. Resultados estes que corroboram com as densidades observadas nos tratamentos que envolveram T2, T3 e T4 (Tabela 1). Assim, a densidade energética da madeira tende a aumentar linear e proporcionalmente a densidade básica, como observado nesse trabalho, dessa forma materiais mais densos tende a apresentar maior quantidade de energia disponível.

O teor de carbono fixo aumentou, para um mesmo rendimento gravimétrico, em espécies que apresentaram menor porcentagem de materiais voláteis. De acordo com Leite *et al.* (2015) o comportamento do

teor de material volátil é oposto ao de carbono fixo, já que esse último parâmetro é obtido por diferença. Os resultados da análise química imediata não se correlacionaram com o poder calorífico e densidades.

Há também uma significativa correlação negativa entre o rendimento de carvão gravimétrico e o rendimento em gases não condensáveis e em licor pirolenhoso, o que já era esperado, pois quanto maior o grau de desvolatização da madeira, menor é o rendimento em carvão, principalmente quando não há favorecimento das reações secundárias (DI BLASI, 2008).

Tabela 4. Coeficientes de correlação linear entre as características energéticas de espécies do gênero *Eucalyptus* aos seis anos de idade.

Table 4. Linear correlation coefficients between the energy characteristics of *Eucalyptus* species at six years of age.

Variável	Db	De	RGC	RLP	RGNC	MV	CZ	CF
PCS	0,615	0,685	0,719	0,674	-0,724	0,200	0,383	-0,305
PCI	0,615	0,685	0,719	0,674	-0,724	0,200	0,383	-0,305
PCU	0,618	0,687	0,717	0,675	-0,724	0,204	0,378	-0,309
Db		0,996*	0,016	0,180	-0,129	0,239	-0,407	-0,165
De			0,099	0,243	-0,202	0,240	-0,329	-0,184
RGC				0,794	-0,907*	0,143	0,726	-0,322
RLP					-0,976*	0,709	0,254	-0,826
RGNC						-0,542	-0,436	0,687
MV							-0,454	-0,979*
CZ								0,261

Legenda: PCS é o poder calorífico superior; PCU é o poder calorífico útil; Db é a densidade básica; De é a densidade energética; RGC é o rendimento gravimétrico em carvão; RLP é o rendimento em líquido pirolenhoso; RGNC é o rendimento em gases não condensáveis; MV é o teor de material volátil; CZ é o teor de cinzas; CF é o teor de carbono fixo. *($p < 0,05$).

O aproveitamento da biomassa florestal das espécies do gênero *Eucalyptus*, estudadas nesse trabalho para fins energéticos, é promissor. O *Eucalyptus robusta* apresentou características energéticas semelhantes ao híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (PCS, PCI, RGC, RLP, RGNC, MV, CZ e CF) e, em alguns casos, superiores (Db e De). Salienta-se que a produção de biomassa pode gerar receitas que viabilizam economicamente seu aproveitamento em siderurgias. Além disso, sistemas de produção de biomassa energética são planejados e dimensionados visando concentrar a maior produção em função da área (MÜLLER *et al.*, 2005).

Diante da atual demanda por novas espécies para utilização como biomassa biorredutora, os resultados deste trabalho podem ser utilizados como ponto de partida para pesquisas posteriores e auxílio no planejamento de programas de melhoramento genético e implantação de florestas energéticas.

Recomenda-se que mais pesquisas, sobre o potencial energético de espécies não utilizadas convencionalmente para a produção de carvão vegetal, sejam realizadas.

CONCLUSÕES

- As espécies *Eucalyptus propínqua*, *Eucalyptus robusta*, *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus botryoides*, assim como o híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, apresentam características potenciais (PCS, Db e De) para a produção de carvão vegetal, com rendimento gravimétrico médio de 39,65% (segundo as condições experimentais desse trabalho).
- O *Eucalyptus robusta* é a espécie mais promissora para fins energéticos e para ser utilizado como biorredutor pelas indústrias siderúrgicas, devido suas características da madeira e do carvão vegetal.

REFERÊNCIAS

ARANTES, M. D. C.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, J. R. M. da; ANDRADE, C. R. Características do carvão de um clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Revista Cerne**, Lavras, v. 19, n. 3, p. 423-431, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8112**: Carvão vegetal: Análise química imediata. Rio de Janeiro: ABNT, 1986. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8633**: Carvão vegetal: Determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 13 p.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL (ABTCP). **M14/70**: métodos de ensaio. São Paulo: ABTCP, 1974. p. 45-52.
- BRAND, M. A.; MUÑIZ, G. I. B.; QUIRINO, W. F.; BRITO, J. O. Storage as a tool to improve wood fuel quality. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 35, p. 2581-2588, 2011.
- BRAND, M. A.; MUÑIZ, G. B. I. Influência da época de colheita da biomassa florestal sob sua qualidade para a geração de energia. **Scientia Forestalis**, Piracicabe, v. 38, v. 88, p. 619-628, 2010.
- COELHO, S. R. F.; GONÇALVES, J. L. M.; MELLO, S. L. M.; MOREIRA, R. M.; SILVA, E. V.; LACLAU, J. Crescimento, nutrição e fixação biológica de nitrogênio em plantios mistos de eucalipto e leguminosas arbóreas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 6, p. 759-768, 2007.
- DI BLASI, C. Modeling chemical and physical processes of wood and biomass pyrolysis. *Progress in Energy and Combustion Science*, Italy, v. 34, n. 1, p. 47-90, 2008.
- ELYOUNSSI, K.; BLIN, J.; HALIM, M. High-yield charcoal production by two-step pyrolysis. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, Amsterdam, v. 87, n. 1, p. 138-143, Nov. 2010.
- FERREIRA, D. F. Análise estatística por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) para Windows versão 4,0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45, 2000, São Carlos, São Paulo. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Associação que representa os segmentos de painéis e pisos de madeira, celulose, papel e florestas energéticas**. Brasília: IBÁ, 2015. 80 p.
- LEITE, E. R. S.; PROTÁSIO, T. P.; ROSADO, S. C. S.; TRUGILHO, P. F.; MELO, I. C. N. A. M. Qualidade do carvão vegetal produzido a partir da madeira do cafeeiro, para uso bioenergético. *Rev. Coffee Science*, Lavras, v. 10, n. 2, p. 251-261, 2015.
- LU, S.; LI, L.; YI, X.; JOSHI, C. P.; CHIANG, V. L. Differential expression of three eucalyptus secondary cell wall-related cellulose synthase genes in response to tension stress. **Journal of Experimental Botany**, v. 59, n. 3, p. 681-695, 2008.
- MÜLLER, M. D.; COUTO, L.; NEVES, J. C. L. Produção de biomassa e balanço nutricional de plantações de eucalipto clonal em diferentes densidades de plantio no município de Itamarandiba-MG. **Biomassa & Energia**, v. 2, n. 2, p. 91-101, 2005.
- 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**, v. 31, n. 38, 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**, v. 38, n. 87, p. 431-439, 2010.
- 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. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 657-669, 2016.
- SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira**. 2001, 160 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.
- SOARES, V. C.; BIANCHI, M. L.; TRUGILHO, P. F.; JÚNIOR PEREIRA, A.; HÖFLER, J. Correlações entre as propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 543-549, 2014.
- SOUZA, M. M.; SILVA, D. A.; ROCHADELLI, R.; SANTOS, R. C. Estimativa poder calorífico e caracterização para uso energético de resíduos da colheita e do processamento de *Pinus taeda*. **Revista Floresta**, v. 42, n. 2, p. 325-334, 2012.
- TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Revista Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 1-15, 2009.
- VIEIRA, R. S.; LIMA, J. T.; MONTEIRO, T. C.; SELVATTI, T. S.; BARAÚNA, E. E. P.; NAPOLI, A. Influência da temperatura no rendimento dos produtos da carbonização de *Eucalyptus microcorys*. **Revista Cerne**, Lavras, v. 19, n. 1, p. 59-64, set. 2013.