



QUALIDADE DO CARVÃO VEGETAL DE CINAMOMO: INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE CARBONIZAÇÃO E TAXA DE AQUECIMENTO

Rodrigo SIMETTI¹, Dimas A. DA SILVA², Ghislaine M. BONDUELLE² e Sandra L. S. MAYER¹

1 – Programa de pós-graduação em engenharia florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

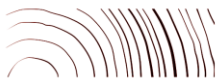
2 – Departamento de engenharia e tecnologia florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

Resumo: O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da temperatura de carbonização e da taxa de aquecimento sobre a qualidade do carvão vegetal de cinamomo (*Melia Azedarach L.*) e as relações estatísticas entre as variáveis avaliadas. Foram utilizadas cinco árvores das quais foram tirados discos e destes feitos corpos de prova. As carbonizações ocorreram em laboratório em forno mufla, nas temperaturas de carbonização de 430°C e 530°C, e com taxas de aquecimento de 1°C.min⁻¹ e 5°C.min⁻¹. Foram avaliados os teores de carbono fixo, materiais voláteis e cinzas, rendimentos em carvão vegetal e carbono fixo, poder calorífico superior e densidade relativa aparente. Utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado com esquema fatorial duplo, considerando como fatores a taxa de aquecimento e temperatura de carbonização. Foram realizadas correlações lineares simples entre as características mensuradas. O carvão de cinamomo mostrou-se de boa qualidade e com potencial energético. Houve diferenças significativas para as diferentes temperaturas de carbonização e taxas de aquecimento. O poder calorífico superior apresentou forte relação com os rendimentos gravimétricos e teores de carbono fixo e materiais voláteis.

Palavras-chave: biomassa, energia renovável, pirólise.

Abstract: This work aimed to verify the influence of the carbonization temperature and heating rate on the quality of charcoal cinnamon (*Melia azedarach L.*) and the statistical relationships among the variables measured. Five trees were evaluated. In each one, discs were obtained and from the discs were obtained specimen. The carbonization occurred in laboratory muffle furnace, carbonization at temperatures of 430°C and 530°C, with heating rate of 1°C . min⁻¹ and 5°C . min⁻¹. The fixed carbon, volatiles matters and ash contents , yields in charcoal and fixed carbon, higher heating value and relative apparent density of charcoal were determined. In the evaluation of experiment, an double factorial in completely randomized design, being heating rate and carbonization temperature considered a variations factors. Simple linear correlation between the measured characteristics were performed. Charcoal from cinnamon was good quality and energy potential. Significant differences was found for the different temperature carbonization and heating rates. The higher heating value showed a strong relationship with gravimetric yield and fixed carbon and volatiles matters contents.

Keywords: biomass, renewable energy, pyrolysis



1. INTRODUÇÃO

Segundo Calais (2009) as plantações florestais homogêneas não tem capacidade de suprir toda a demanda por carvão vegetal, atingindo apenas 50% dessa, sendo a outra parte suprida por manejo de florestas e resíduos. O que torna o aparecimento de novas indústrias, que usem o carvão vegetal, difícil. Há uma busca por espécies arbóreas capazes de suprir essa demanda com qualidade. Existe grande conhecimento sobre o potencial energético de espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, porém, pouca informação sobre outras espécies.

O cinamomo (*Melia azedarach L.*) é uma espécie nativa da Ásia (CABEL, 2006) que segundo Venson (2003) apresentou boa adaptação em toda a América. Por ser uma espécie exótica apresenta a vantagem de ter o corte liberado, o que facilita sua utilização em plantios comerciais. Pérez et al., (2003) registraram acréscimo de 2 a 3 m/ano em altura e 3 a 5 cm/ano de incremento de diâmetro para essa espécie.

Há uma ausência na literatura sobre o uso do cinamomo para produção de carvão vegetal e seu comportamento em relação à diferentes tratamentos térmicos.

Dado o exposto acima, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da temperatura de carbonização e da taxa de aquecimento na qualidade do carvão vegetal de cinamomo e as relações estatísticas entre as variáveis mensuradas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A madeira utilizada foi da espécie cinamomo, proveniente de um plantio experimental na cidade de Corupá/Santa Catarina, com 18,5 anos de idade. Foram amostradas aleatoriamente 5 árvores. As árvores coletadas apresentavam altura total média de 22,4 m, altura comercial média de 15,5 m (adotou-se o diâmetro mínimo de 8 cm com casca), e diâmetro a altura do peito médio de 24,2 cm. O teor de lignina médio 22,6% e densidade básica da madeira 0,488 g.cm⁻³.

Para as carbonizações foram confeccionados corpos de prova com 1,5 x 1,5 x 3 cm, e para cada carbonização foram utilizados 10 corpos de prova previamente secos em estufa a 103 ± 2°C até massa constante. As carbonizações foram realizadas em laboratório em forno tipo mufla com taxas de aquecimento de 1°C.min⁻¹ e 5°C.min⁻¹, e temperaturas de carbonização de 430°C e 530°C, permanecendo nessas temperaturas durante 30 minutos. Das carbonizações foram determinados os rendimentos em carvão vegetal (RGC).

A densidade relativa aparente (DRA) do carvão foi determinada de acordo com a norma NBR 11941 (ABNT, 2003).

A composição química imediata foi determinada de acordo com os procedimentos da norma NBR 8112 (ABNT, 1983), com determinação do teor de materiais voláteis (TMV), teor de cinzas (TCz) e teor de carbono fixo (TCF). Foi obtido o rendimento em carbono fixo (RCF) do produto do RGC pelo TCF

O poder calorífico superior (PCS) foi determinado conforme a norma NBR 8633 (ABNT, 1984) em calorímetro da marca IKA®C5000.

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 x 2, considerando-se como níveis dos fatores as temperaturas de carbonização e taxas de aquecimento. Foi realizada análise de variância e havendo diferenças as médias foram comparadas estatisticamente pelo teste de Tukey. Preliminarmente à análise de variância foi realizado o teste de Bartlett de homogeneidade das variâncias e para a normalidade dos

resíduos foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk. Todos os teste foram realizados à 5% de probabilidade. Foram avaliados os coeficientes de correlação linear simples de Pearson entre as características avaliadas, como forma de entender o comportamento entre as variáveis. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software estatístico R versão 3.2.0, pacote stats (R CORE TEAM, 2015) e ExpDes (FERREIRA et al., 2013)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Carbonização e qualidade do carvão vegetal

Não houve efeito da interação dos fatores estudados para densidade relativa aparente, rendimento em carvão vegetal, rendimento em carbono fixo, teor de carbono fixo e poder calorífico superior (Tabela 1 e Tabela 2). Portanto, para essas propriedades apenas o efeito simples de cada fator foi analisado, quando esse se mostrou significativo.

Tabela 1. Resumo das análises de variância para densidade relativa aparente, rendimento gravimétrico em carvão e rendimento em carbono fixo

Fator de variação	GL	Quadrado médio		
		DRA	RGC	RCF
Temperatura	1	0,0016 ^{ns}	372,88*	33,683*
Taxa de aquecimento	1	0,0371*	75,18*	94,603*
Temperatura*Taxa de aquecimento	1	0,0001 ^{ns}	0,03 ^{ns}	2,788 ^{ns}
Resíduo	36	0,0005	2,70	2,583
Coeficiente de variação experimental (%)	-	10,84	4,97	6,8

A composição química imediata apresentou interação significativa entre os fatores para os teores de materiais voláteis e cinzas, e não significativa para o teor de carbono fixo. O poder calorífico superior apresentou efeito significativo apenas para o efeito do fator temperatura (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo das análises de variância para teores de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo; e poder calorífico superior do carvão

Fator de variação	GL	Quadrado médio			
		TMV	TCz	TCF	PCS
Temperatura	1	3670,4*	0,77342*	3587,2*	18574087*
Taxa de aquecimento	1	36,9*	0,21220*	96,1*	20 ^{ns}
Temperatura*Taxa de aquecimento	1	16,2*	0,24173*	47,1 ^{ns}	98082 ^{ns}
Resíduo	36	1,8	0,00332	14,2	174049
Coeficiente de variação experimental (%)	-	5,18	4,94	5,2	5,75



O incremento da temperatura de carbonização acarretou na diminuição do rendimento gravimétrico em carvão vegetal, no aumento do teor de carbono fixo e poder calorífico superior. Apesar da diminuição do rendimento gravimétrico em carvão, o rendimento em carbono fixo aumentou com a elevação da temperatura de carbonização, devido ao aumento no teor de carbono fixo (Tabela 3).

Tabela 3. Efeito da temperatura de carbonização nas propriedades do carvão vegetal de Cinamomo

Temperatura final (°C)	DRA (g.cm ⁻³)	RGC (%)	RCF (%)	TCF (%)	PCS (Kcal.Kg ⁻¹)
430	0,229 a	36,10 a	22,71 b	62,85 b	6576 b
530	0,217 a	29,99 b	24,55 a	81,79 a	7938 a

Valores seguidos da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Para o efeito da taxa de aquecimento foram constatados os maiores valores das variáveis densidade relativa aparente, rendimento gravimétrico em carvão, rendimento em carbono fixo e teor de carbono fixo na taxa de aquecimento de 1°C.min⁻¹ (Tabela 4).

Tabela 4. Efeito da taxa de aquecimento nas propriedades do carvão vegetal de Cinamomo

Taxa de aquecimento (°C.min ⁻¹)	DRA (g.cm ⁻³)	RGC (%)	RCF (%)	TCF (%)	PCS (Kcal.Kg ⁻¹)
1	0,253 a	34,41 a	25,17 a	73,87 a	7256 a
5	0,192 b	31,67 b	22,09 b	70,77 b	7258 a

Valores seguidos da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Para o uso siderúrgico do carvão vegetal a DRA deve ser superior a 0,40 g.cm⁻³ (CARNEIRO et al., 2013). Os valores encontrados para DRA foram na faixa de 0,192 a 0,253 g.cm⁻³, inferiores aos encontrados por Machado et al. (2014) na carbonização de cinamomo nas temperaturas de 300°C e 400°C, respectivamente 0,34 e 0,30 g.cm⁻³. Dessa forma o carvão vegetal de cinamomo não apresenta empregabilidade na siderurgia.

Segundo Trugilho e Silva (2001) a DRA decresce até temperaturas próximas à 650°C, ponto no qual a perda de massa se torna menor que a contração nas dimensões do carvão, os mesmos autores atribuem essa contração a possibilidade de rearranjo estrutural do carbono residual.

Os baixos valores encontrados nesse presente trabalho estão relacionados com densidade básica da madeira (0,488 g.cm⁻³) e as temperaturas de carbonização utilizadas. De acordo com Vale et al. (2010) a densidade básica da madeira e a densidade aparente do carvão são altamente correlacionadas, portanto quanto maior a densidade básica da madeira mais denso será o carvão vegetal.



Os resultados encontrados para RGC são semelhantes aos encontrados por Almeida et al. (2015) ao estudarem o comportamento das espécies *Amburana cearensis* e *Piptadenia stipulacea* à temperatura de carbonização de 450°C, que foram aproximadamente 38%.

De acordo com Oliveira (2013) o RGC está relacionado positivamente com os teores de lignina e extrativos. Dessa forma os resultados aqui encontrados diferem dos resultados de Machado et al. (2014) que utilizaram cinamomo com teor de lignina superior (34,66%) e na temperatura de carbonização de 400°C obtiveram RGC de 26,46%. Por consequência, apesar do TCF encontrado pelo mesmos autores (75,35%) ter sido superior ao deste trabalho o RCF desses foi inferior (19,94%). Os resultados obtidos corroboram com o estudo de clones de *Eucalyptus* de Quinhones (2011) que encontrou teor de lignina na faixa de 27-28% e RGC para a temperatura de carbonização de 450°C de 33-35% e para a temperatura de carbonização de 550°C de 32%.

São encontrados na literatura valores de RCF que variam na faixa de 25% a 27% (COSTA et al., 2014; MEDEIROS NETO, 2014; PROTÁSIO, 2011). A avaliação do RCF é essencial para o estudo energético do carvão vegetal, uma vez que maiores RCF correspondem a maiores quantidades de energia gerada (PROTÁSIO, 2011).

A taxa de aquecimento não influenciou no PCS, ao contrario da temperatura de carbonização, de forma que a elevação da temperatura acarretou na elevação do PCS, comportamento também observado por Machado et al. (2014) e Protásio et al. (2014).

Ao avaliar diferentes clones de *Eucalyptus* sp. Protásio et al. (2013) encontraram valores de PCS na faixa de 7300-7450 kcal.kg⁻¹ para temperatura de carbonização de 450°C; Damásio et al. (2013), com temperatura de carbonização de 400 °C, encontraram PCS de 7719 kcal.kg⁻¹.

Foi observado que o PCS e o TCF tem comportamento semelhante, dado que são variáveis altamente correlacionadas (TRUGILHO e SILVA, 2001; VALE et al., 2001).

A elevação da temperatura de carbonização fez com que houvesse redução no teor de materiais voláteis para os tratamentos de maior temperatura. A taxa de aquecimento afetou apenas os tratamentos de 430°C. Para a temperatura de 530°C não houve diferença estatisticamente significativa nos teores de materiais voláteis. (Tabela 5).

Tabela 5. Efeito da temperatura de carbonização e da taxa de aquecimento nos teores de materiais voláteis do carvão vegetal de Cinamomo

Temperatura (°C)	Taxa de aquecimento (°C.min ⁻¹)	
	1	5
430	33,56 aB	36,75 aA
530	15,67 bA	16,32 bA

Valores seguidos da mesma letra minúscula, na coluna, e maiúscula, na linha, não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O teor de cinzas no carvão vegetal foi menor para os tratamentos de 430°C que apresentou efeito da taxa de aquecimento apenas para essa menor temperatura de carbonização (Tabela 6).



Tabela 6. Efeito da temperatura de carbonização e da taxa de aquecimento nos teores de cinzas do carvão vegetal de Cinamomo

Temperatura (°C)	Taxa de aquecimento (°C.min ⁻¹)	
	1	5
430	0,875 bB	1,177 bA
530	1,309 aA	1,299 aA

Valores seguidos da mesma letra minúscula, na coluna, e maiúscula, na linha, não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A análise do teor de cinzas torna-se importante uma vez que altos teores reduzem o poder calorífico, pois os materiais minerais não participam da combustão, porém são parte da massa combustível (PROTÁSIO et al, 2011; BRAND, 2010). Os valores encontrados neste trabalho são inferiores ao encontrado por Leles et al. (2014) ao trabalharem a carbonização de cinamomo proveniente de diferentes espaçamentos, valores na faixa de 1,75% a 2,50%, a explicação para isso pode estar na temperatura de carbonização utilizada pelos autores, que foi de 700°C. Em seu trabalho Machado et al. (2014) valores variando entre 0,69 e 0,76%. Teores de cinzas superiores a 7% são considerados elevados (VALE et al., 2011), o que não foi constatado para nenhum dos tratamentos utilizados.

3.2 Análise de correlação

Na tabela 7 são apresentados os valores para os coeficientes de correlação de Pearson para as propriedades do carvão vegetal dos diferentes tratamentos.

Tabela 7. Coeficientes de correlação linear simples de Pearson

	DA	RGC	PCS	TCF	TMV	TCz	RCF
DA	1						
RGC	0,501	1					
PCS	-0,169	-0,656	1				
TCF	0,029	-0,703	0,815	1			
TMV	0,095	0,764	-0,867	-0,912	1		
TCz	-0,409	-0,728	0,612	0,612	-0,677	1	
RCF	0,605	0,088	0,414	0,643	-0,444	0,056	1

O poder calorífico superior apresentou alta correlação positiva com o teor de carbono fixo. Para o teor de materiais voláteis também houve alta correlação com poder calorífico superior, no entanto de forma inversamente proporcional. Os teores de materiais voláteis e carbono fixo são inversamente proporcionais, dado que esse é obtido por diferença.

Protásio et al (2011) ao trabalharem com *Qualea parviflora* também encontraram forte correlação positiva entre o teor de carbono fixo e o poder calorífico superior ($r=0,96$) e relação negativa entre o poder calorífico superior e o teor de materiais voláteis ($r=-0,94$). Da mesma forma, Trugilho e Silva (2001) também encontraram correlação positiva entre poder calorífico superior e o teor de carbono fixo ($r=0,93$), e negativa com o teor de materiais voláteis ($r=-0,92$), para o carvão vegetal de *Himenea courbaril*.

O rendimento gravimétrico em carvão vegetal apresentou correlações negativas com o poder calorífico superior e o teor de carbono fixo, e correlação positiva com o teor de materiais voláteis. Sendo assim, altos valores para rendimento em carvão vegetal estão ligados a baixos



teores de carbono fixo e baixo poder calorífico. Vale et al (2001) ao trabalharem com espécies do bioma cerrado e Protásio et al. (2011) observaram essas mesmas relações em seus trabalhos.

O rendimento em carbono fixo apresentou correlação positiva com o teor de carbono fixo e com a densidade aparente básica.

4. CONCLUSÃO

Por meio desse trabalho foi possível concluir que:

1. A temperatura de 530°C ocasiona maior poder calorífico superior, rendimento em carbono fixo e teor de carbono.
2. O teor de cinzas e materiais voláteis sofre influência da taxa de aquecimento somente na temperatura de carbonização de 430°C
3. O aumento no teor de carbono fixo e no poder calorífico superior acarreta na diminuição do rendimento gravimétrico.
4. O poder calorífico superior é influenciado negativamente pelo teor de materiais voláteis e positivamente pelo teor de carbono fixo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A. M. C., OLIVEIRA, E., CALEGARI, L., MEDEIROS NETO, P. N., PIMENTA, A. S. Avaliação físico-química e energética da madeira das espécies *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke e *Amburama cearensis* (Allemão) A.C. Smith de ocorrência no semiárido nordestino brasileiro. *Ciência Florestal*, Santa Maria. v.25. n.1, p.165-173. 2015

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

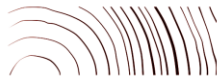
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT. NBR 8112: análise imediata: material volátil, cinzas, carbono fixo. Rio de Janeiro, 1983. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 8633: Carvão vegetal – determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1984. 13 p.

BRAND, M. A. Energia de biomassa florestal. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 131 p

CABEL, S. R. Micropopulação do Cinamomo (*Melia azedarach* L.). 2006. 96 f. Dissertação. (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CALAIS, D. Florestas energéticas no Brasil: demanda e disponibilidade. [Belo Horizonte]: Associação Mineira de Silvicultura, 2009. 23 p. Disponível em: <http://silviminas.com.br/wp-content/uploads/2012/12/publicacao_585.pdf>. Acesso em: 04 jun. 2015



CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; OLIVEIRA, A.C.; PEREIRA, B. L. C. Pirólise lenta da madeira para produção de carvão vegetal. In: Bioenergia & Biorrefinaria – Cana-de-Açúcar & Espécies Florestais. SANTOS, F.; COLLODETTE, J.; QUEIROZ, J. H. (Ed.). Viçosa: Os editores, 2013. p. 429-458.

COSTA, T.G., BIANCHI, M.L., PROTÁSIO, T.P., TRUGILHO, P.F., PEREIRA, A.J. Qualidade da madeira de cinco espécies de ocorrência no cerrado para produção de carvão vegetal. CERNE, Lavras , v. 20, n. 1, p. 37-46, Mar. 2014

DAMÁSIO, R. A. P., PEREIRA, B. L. C., OLIVEIRA, A. C., CARDOSO, M. T., VITAL, B. R., CARVALHO, A. M. L. M.. Caracterização anatômica e qualidade do carvão vegetal da madeira de pau-jacaré (*Piptadenia gonoacantha*). Pesquisa Florestal Brasileira, V. 33, n. 75,p 261-267. 2013

FERREIRA, E.B.; CAVALCANTI, P.P.; NOGUEIRA, D.A. ExpDes: experimental designs package. Version 1.1.2. 2013. Disponível em: <<http://cran.r-project.org/web/packages/ExpDes/index.html>>. Acesso em: 05 jun. 2015

LELES, P.S.S., MACHADO, T. F. F., ALONSO, J. M., ANDRADE, A. M., SILVA, L. L. Crescimento e Biomassa de *Melia azedarach* L. em Diferentes Espaçamentos e Características Tecnológicas da Madeira Visando à Produção de Carvão. Floresta e Ambiente, v. 21, n. 2, p. 214-223, 2014.

MACHADO, G. O., VOGEL, F., SILVA, M.M., Influência da temperatura final de carbonização nas características físicas, químicas e energéticas do carvão de cinamomo (*Melia azedarach* L.). AMBIÊNCIA, V. 10, n. 1, p. 83-96, 2014

MEDEIROS NETO, P. N., OLIVEIRA, E., PAES, J. B. Relações entre as características da madeira e do carvão vegetal de duas espécies da caatinga. Floresta e Ambiente. V. 21, n. 4. p. 484-493, 2014

OLIVEIRA, J. B., VIVACQUA FILHO, A., GOMES, P. A. Produção de carvão vegetal - aspectos técnicos. In: PENEDO, W. R. (Ed.). Produção e utilização de carvão vegetal. Belo Horizonte: CETEC. 1982 .p. 60-73.

PÉREZ, V. R., RHINER, G. R., CAÑETE, M. C., DELVALLE, P., HAMPEL, H., MALETTI, C. Crecimiento estacional del diámetro normal de *Melia azedarach* L. var. *Gigantea* em diversas densidades. INTA. p. 1-7, 2003.

PROTÁSIO, T. P., SANTANA, J. D. P., GUIMARÃES NETO, R. M., GUIMARÃES JÚNIOR, J. B., TRUGILHO, P. F.; BISPO, I. B. Avaliação da qualidade do carvão vegetal de *Qualea parviflora*. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v. 31, n. 68, p. 295-307, 2011.

PROTÁSIO, T. P., COUTO, A. M., REIS, A. A., TRUGILHO, P. F. ., GODINHO, T. P. Potencial siderúrgico e energético do carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp. aos 42 meses de idade. Pesquisa Florestal Brasileira, v.33, p.137- 149, 2013



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*, V. 49, n.3, p. 189-196, 2014

QUINHONES, R. Relação entre as características da madeira de *Eucalyptus* sp. e as do carvão produzido a diferentes temperaturas finais de carbonização. 2011. 79p. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras. Lavras.

R CORE TEAM. R: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2015. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 05 jun. 2015.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, D. A. Influência da temperatura final de carbonização nas características físicas e químicas do carvão vegetal de jatobá (*Himenea courbaril* L.). *Scientia Agraria*, Curitiba, PR, v. 2, n. 1-2, p. 45-53, 2001

VALE, A. T.; COSTA, A. F.; GONÇALEZ, J. C.; NOGUEIRA, M. Relações entre a densidade básica da madeira, o rendimento e a qualidade do carvão vegetal de espécies do cerrado. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v. 25, n. 89, p. 89–95, 2001.

VALE, A. T.; DIAS, I. S.; SANTANA, M. A. E. Relação entre as propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies do cerrado. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 20, n.1, p. 137- 145, 2010.

VALE, A. T.; MENDES, R. M.; AMORIM, M. R. S.; DANTAS, V. F. S. Potencial energético da biomassa e carvão vegetal do epicarpo e torta de pinhão manso (*Jatropha curcas*). *Cerne*, Lavras, v. 17, n. 2, p. 267-273, 2011

VENSON, I. Estudio de las propiedades de la madera de *Melia azedarach* Linn. 2003. 119 f. Maestría (Maestro en Ciencia de Productos Forestales) Universidad de Guadalajara. México.