

Recebido: 21-05-2013 Aceito: 09-01-2015

## Variação longitudinal da massa específica da madeira e da casca de *Hovenia dulcis* Thunberg.

Jackson Roberto Eleoterio<sup>1</sup>, Gabriel Corso Pellens<sup>2</sup>, Marcelo Jorge Commanduli<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro Florestal, Professor Doutor, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Regional de Blumenau (FURB), Blumenau – SC, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro Florestal, Universidade Regional de Blumenau (FURB), Blumenau – SC, Brasil.

**RESUMO** Uva-do-japão (*Hovenia dulcis* Thunberg) ocorre naturalmente na China, Japão, Coréia do Norte e Coréia do Sul e é largamente difundida pelo cultivo e como invasora de florestas no Sul do Brasil. Apesar de ter propriedades organolépticas que permitam recomendar a madeira dessa espécie como matéria-prima na indústria moveleira, poucas informações estão disponíveis sobre as suas propriedades. A massa específica figura entre as propriedades físicas de fácil determinação, fortemente correlacionada com propriedades mecânicas e propriedades de transporte. O objetivo deste trabalho foi determinar a massa específica básica da madeira e da casca ao longo do eixo longitudinal da árvore, além de determinar a fração de casca e de madeira. A amostra constituiu de discos retirados ao longo do comprimento de duas árvores de ocorrência espontânea em Blumenau (SC). A massa específica básica permite a classificação da madeira como leve. Observou-se variação nesta propriedade ao longo do comprimento da árvore, com padrões distintos para madeira e casca. O fator de casca encontrado foi variável ao longo da altura, com tendência de decréscimo linear em direção ao ápice.

**Palavras-chave:** massa específica, fração de casca, perfil axial.

## Longitudinal variation of basic density of wood and bark of *Hovenia dulcis* Thunberg.

**ABSTRACT** Japanese Raisin Tree (*Hovenia dulcis* Thunberg) occurs naturally in China, Japan, North Korea and South Korea and it is widely diffused because of its growing and for being an invasive species of forests in southern Brazil. Despite having organoleptic properties that allows recommending the wood of this specie as raw material in the furniture industry, poor information about wood properties is available. Basic density is one of the physical properties of easy determination, and it is strongly correlated both with mechanical properties and transport properties. The aim of this study was to determine the basic density of wood and bark in the longitudinal axis of the tree, and to determine the fraction of bark and wood. Samples used were cut along the length of two trees that had spontaneous occurrence in Blumenau (SC). Wood basic density was classified as light. A variation on this property along the length of the tree was observed, which results in different patterns for wood and bark. The bark factor varied along the tree length, tending to decrease linearly to the top.

**Keywords:** basic density, bark content; longitudinal profile.

### Introdução

Uva-do-japão (*Hovenia dulcis* Thunberg) pertence à família Rhamnaceae e ocorre naturalmente na China, Japão, Coréia do Norte e Coréia do Sul. No Sul do Brasil é largamente difundida pelo cultivo em pequenos talhões ou de forma isolada em propriedades rurais ao longo da bacia do

Rio Uruguai, nos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul e no sudoeste do Paraná. (CARVALHO, 1994). No Inventário Florístico Florestal do Estado de Santa Catarina essa espécie foi frequentemente encontrada nos remanescentes florestais da Floresta Estacional Decidual (MEYER et al., 2012).

A espécie é cultivada principalmente com a finalidade de planta ornamental, quebra-vento e para produção de madeira

para uso energético e para construção civil. Seu crescimento é bastante variável no Brasil, atingindo  $30 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$  (CARVALHO, 1994). Rigatto et al. (2001) afirmaram que a altura varia de 10 a 15 m, podendo atingir 25 m. Já o diâmetro à altura do peito (DAP) varia de 20 a 40 cm, podendo alcançar 50 cm.

Algumas propriedades organolépticas como cor do cerne, de amarelo a castanho-escuro ou vermelho; brilho opaco a mediano, textura fina e grã direita permitem utilizar esta espécie na indústria moveleira (CARVALHO, 1994). A madeira desta espécie apresenta massa específica aparente de  $549 \text{ kg/m}^3$  segundo Rigatto et al. (2001) e massa específica básica de  $570$  e  $580 \text{ kg/m}^3$  segundo Napoli et al. (2013) e de  $577 \text{ kg/m}^3$ , variando de  $515$  a  $650 \text{ kg/m}^3$  segundo Motta et al. (2014). Como propriedade de um material biológico, a massa específica da madeira varia entre espécie, entre indivíduos da mesma espécie e ao longo dos sentidos radial e longitudinal das árvores, influenciada por fatores genéticos e de sítio (GLASS; ZELINKA, 2010; BOWYER et al., 2003). Essa propriedade física está relacionada com diversas propriedades mecânicas e com propriedades de transporte como condutividade térmica e difusividade mássica (SIAU, 1984). Relaciona-se ainda com a energia acumulada por unidade de volume de madeira (BOWYER et al., 2003) e com o acúmulo de carbono (SIQUEIRA et al., 2008). A massa específica básica tem sido utilizada como parâmetro para a definição de programas de secagem a partir da metodologia apresentada por Simpson; Verrill (1997) e aplicada com sucesso para espécies brasileiras por Eleotério; Silva (2012; 2014).

O percentual de casca interfere na estimativa da produtividade da floresta, necessário para o conhecimento do real volume de madeira por área (BORSOI et al., 2013). O fator de casca é a relação entre o diâmetro sem casca e o diâmetro com casca e é utilizado para estimar o volume sem casca partindo do princípio de que é constante ao longo do eixo longitudinal

(MACHADO et al., 2006). Entretanto, o afilamento do tronco nem sempre é acompanhado por proporcional redução da espessura da casca (SCHREUDER et al., 1992). A espessura da casca varia entre espécies e entre indivíduos pela contribuição de fatores genéticos, condições de sítio, idade, tamanho e taxa de crescimento (SCHREUDER et al., 1992)

Apesar do potencial de *Hovenia dulcis* como matéria-prima para indústria madeireira e moveleira e como fonte de biomassa, poucas informações estão disponíveis sobre a fração do volume das árvores que representa a madeira e qual a variação esperada ao longo do comprimento. O objetivo deste trabalho foi determinar a massa específica da madeira, da casca e o fator K para *Hovenia dulcis*, bem como avaliar o efeito da posição longitudinal nestes três parâmetros.

## Material e Métodos

### *Localização das árvores amostradas*

Os dados foram coletados de duas árvores que cresceram espontaneamente em um talhão de *Cunninghamia lanceolata* no Parque Ecológico Spitzkofft ( $27^{\circ}01'S$ ,  $49^{\circ}07'W$ ), município de Blumenau, Santa Catarina, Brasil.<sup>2</sup>

Segundo a classificação climática de Köppen, a região do Vale do Itajaí enquadra-se como clima Cfa, ou seja, clima subtropical constantemente úmido, sem estação seca, com verão quente (temperatura média do mês mais quente  $> 22^{\circ}\text{C}$ ). A temperatura média anual varia de  $19,1$  a  $20,0^{\circ}\text{C}$ , com temperatura média das máximas variando de  $26,0$  a  $27,6^{\circ}\text{C}$  e a média das mínimas variando entre  $15,4$  a  $16,8^{\circ}\text{C}$ . A precipitação pluviométrica total anual pode variar de  $1.430$  a  $1.908 \text{ mm}$ , distribuída em  $156$  a  $185$  dias de chuva. (THOME et al., 1999).

O solo da região é classificado como Ra1, ou seja, associação entre solos litólicos álicos A moderado, textura argilosa, fase pedregosa com substrato formado por rochas do Com-

plexo Metamórfico Brusque e cambissolo álico Tb A moderado, textura argilosa, relevo montanhoso e escarpado (EMBRAPA, 1998; CIRAM, 2002).

### **Determinação da massa específica básica ( $\rho_{bás}$ ) e da fração de casca**

Após o abate das árvores, foi medida a altura total e retirados discos nas alturas de 0,1 m, 0,7 m, 1,3 m e, após este ponto, de um em um metro, ao longo do comprimento da árvore, até o diâmetro mínimo de 5 cm. As árvores apresentavam diâmetro à altura do peito médio de 23,7 cm e altura total média de 22,0 m.

Em cada um dos discos foram marcados três raios, com 120° entre si. Esses raios definiram os pontos de onde foram removidos cerca de 25 cm<sup>2</sup> de casca, que tiveram a espessura medida com paquímetro, volume determinado pelo deslocamento de água e massa seca determinada pela pesagem após a manutenção em estufa a 103 ± 2°C até a estabilização da massa. A  $\rho_{as}$  foi obtida pela relação entre a massa seca e o volume saturado.

Para a determinação da  $\rho_{bás}$  da madeira, foram removidas, de cada disco, duas cunhas, diametralmente opostas, evitando-se nós e outros defeitos como furos de insetos. O volume dessas cunhas foi determinado pela variação de peso do líquido, conforme descrito por Vital (1984). Após 15 m de altura da árvore, em função do pequeno diâmetro dos discos, a  $\rho_{bás}$  foi determinada com o disco inteiro.

A fração de casca foi determinada como o volume de casca em relação ao volume com casca, por segmento e total. O fator K de casca foi definido como o diâmetro sem casca dividido pelo diâmetro com casca.

### **Análise estatística**

A análise estatística envolveu o ajuste de modelos lineares de regressão para estimar a variável resposta em função da posição ao longo da altura da árvore. Os modelos foram apresentados com o intervalo de confiança para a estimativa. Os parâmetros analisados para a escolha dos modelos foram o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e a distribuição gráfica dos resíduos, esta última não apresentada.

### **Resultados e Discussão**

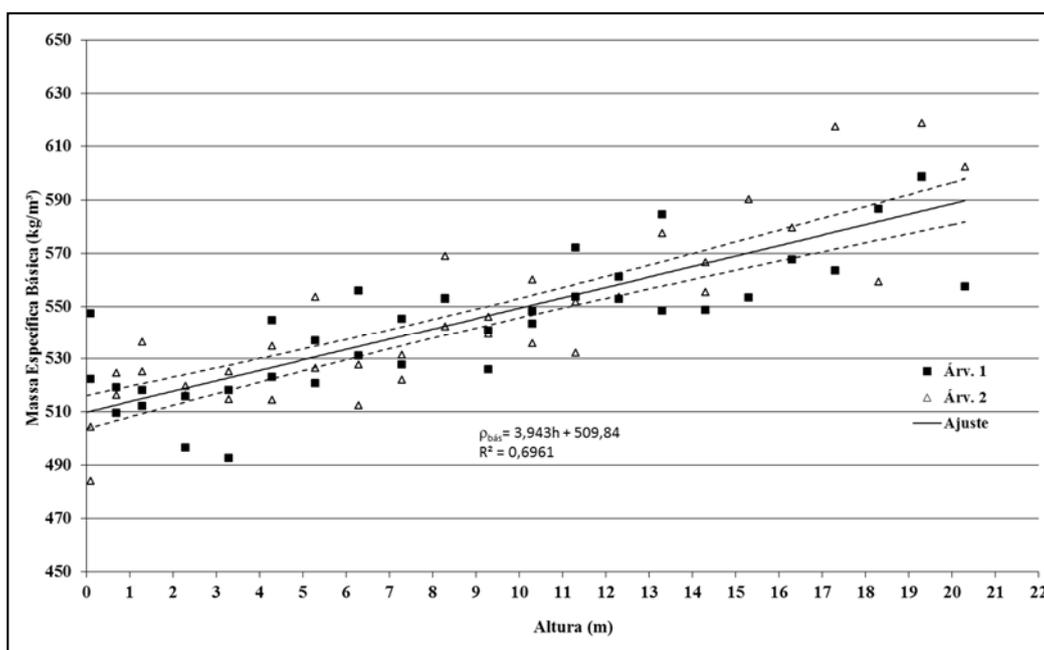
A  $\rho_{bás}$  média da madeira, ponderada pelo volume sem casca nas secções da cubagem e apresentada na Tabela 1, permite classificá-la como madeira leve de acordo com os limites apresentados por Chowdhury; Ghosh (1958) *apud* Wani et al. (2014). Essa informação permite inferir, considerando a relação positiva entre massa específica e resistência mecânica (DIAS; LAHR, 2004, ARAUJO, 2007, BODIG; JANE, 1992), que a madeira desta espécie apresenta potencial para aplicações estruturais em que médias tensões são aplicadas. A estimativa da resistência à compressão paralela segundo a equação apresentada por Kretschmann (2010) é de 43,7MPa ou classe de resistência C40 da NBR7190 (Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 1997). Os valores de  $\rho_{bás}$  da madeira são inferiores aos valores médios apresentado por Napoli et al. (2013) e Motta et al. (2014), entretanto dentro da amplitude apresentada pelo último autor.

Como há variação longitudinal na  $\rho_{bás}$  da madeira, medidas dessa variável para a árvore, tomadas a partir de amostras retiradas apenas no DAP, resultaram em erro de -3,6% para a árvore 1 e de -1,7% para a árvore 2. Já a simples média aritmética da  $\rho_{bás}$  dos discos ao longo da altura, sem levar em conta a contribuição proporcional do volume dos diferentes segmentos, superestima a massa específica básica média em 2,3% para a árvore 1 e em 2,2% para a árvore 2.

**Tabela 1.** Massa específica básica da madeira e da casca, fração de casca e fator K para *Hovenia dulcis*.

**Table 1.** Basic density of wood and bark, bark content and K factor for *Hovenia dulcis*.

Propriedade	Material	Estatística	Árvore 1	Árvore 2	Média
Massa específica básica (kg/m <sup>3</sup> )	Madeira	Média ponderada para árvore	534,5	539,9	537,2
		Média aritmética para árvore	546,0	552,1	549,1
	Casca	Média na altura do peito	515,0	530,7	522,9
		Média ponderada para árvore	499,0	494,9	497,0
		Média aritmética para árvore	496,8	494,9	495,8
		Média na altura do peito	446,8	504,0	475,4
Fator K de casca (mm/mm)		0,87	0,88	0,87	
Fração de Casca (%)		18,6	16,1	17,3	



**Figura 1.** Perfil longitudinal da massa específica básica da madeira.

**Figure 1.** Longitudinal profile of wood basic density.

Da mesma maneira que ocorre com muitas espécies de eucalipto (PEREIRA et al., 2000), a massa específica da madeira não é constante ao longo do comprimento da árvore. A formação de madeira adulta pode explicar a maior massa específica nas porções superiores do tronco.

O perfil longitudinal da massa específica da casca apresentou um comportamento distinto desta mesma propriedade para a madeira (Figura 2). Os valores estão distribuídos seguindo uma parábola convexa, com ponto de máximo em torno da metade da altura da árvore.

A  $\rho_{bás}$  média da casca, ponderada pelo volume de casca nas secções da cubagem, apresentou uma média próxima da  $\rho_{bás}$  da madeira. Entretanto, os intervalos de confiança para os modelos de regressão apresentados nas Figuras 1 e 2 não se sobrepõem, indicando assim que há diferença significativa na massa específica média ao longo de toda a altura da árvore.

Em comparação com a maioria das espécies de eucalipto (PEREIRA et al., 2000), a casca de *Hovenia dulcis* é mais densa, porém a  $\rho_{bás}$  é comparável com a da casca de diversas outras espécies de folhosas (PINARD; HUFFMAN, 1997; MILLES; SMITH, 2009).

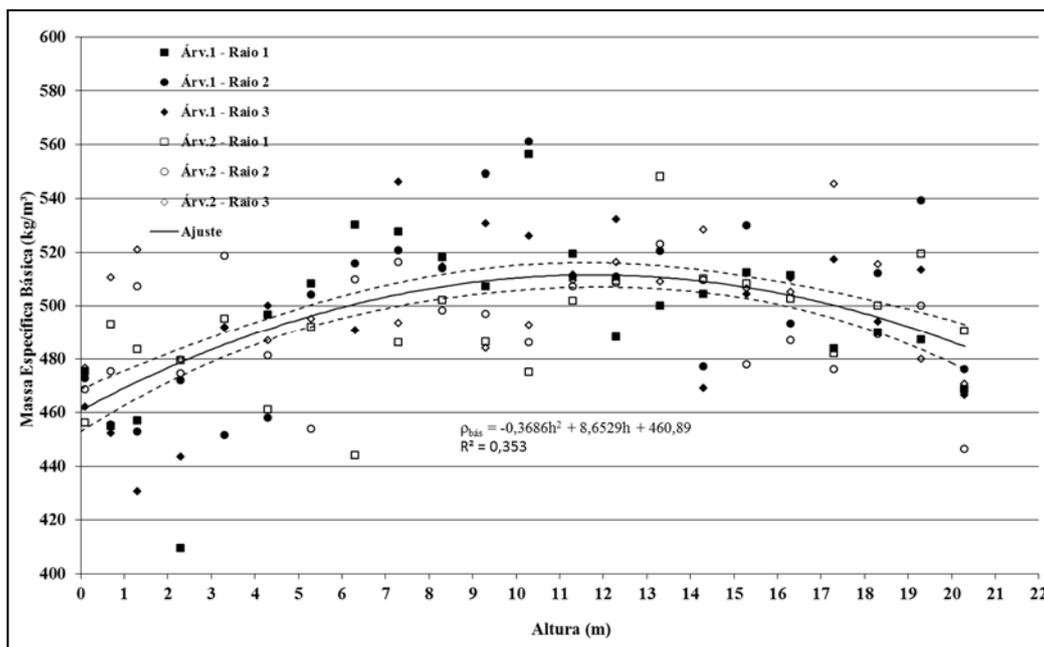


Figura 2. Perfil longitudinal da massa específica básica da casca.

Figure 2. Longitudinal profile of bark basic density.

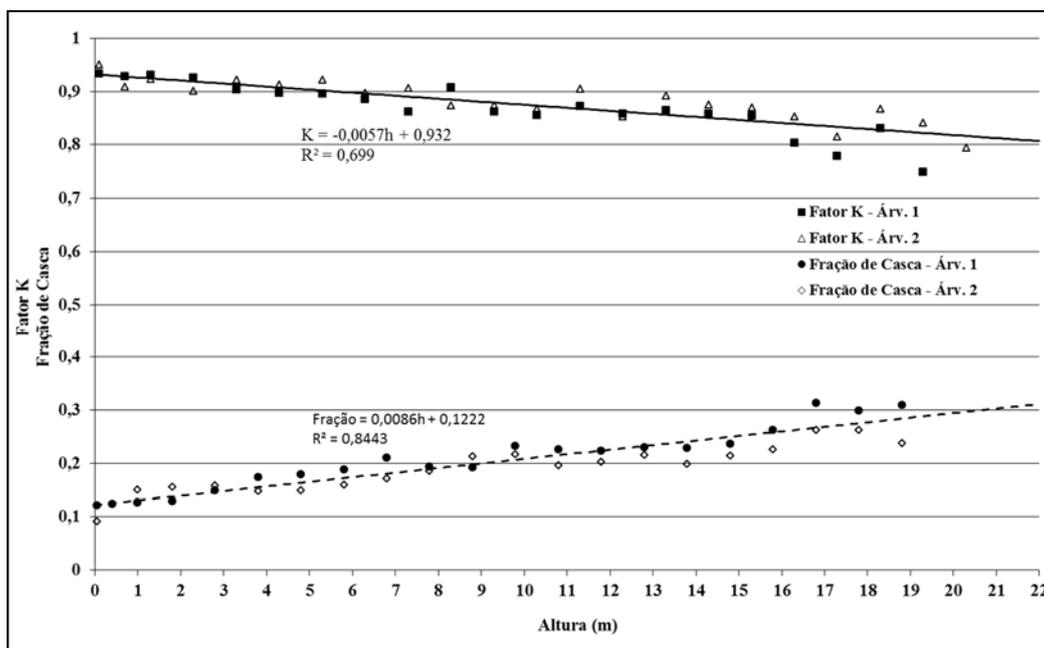


Figura 3. Perfil longitudinal do fator K e da fração de casca.

Figure 3. Longitudinal profile of K factor and bark content.

Se analisada como uma forma de acúmulo de carbono e consequentemente de energia, esse fato é desejável, pois o acúmulo de carbono e, consequentemente, de energia é proporcional ao acúmulo de massa seca. Entretanto, considerando a relação inversa entre massa específica e difusividade

efetiva (MALMQUIST, 1991), quanto maior a massa específica da casca maior a resistência à saída de água e à secagem de toretes para energia. Para a espécie *Hovenia dulcis*, o fator K não é constante ao longo do eixo axial da árvore, apresentando uma tendência de decréscimo (Figura 3). Como consequência, a fração de casca apresenta tendência de elevação ao

longo do mesmo eixo. Uma hipótese para esse fato é que a função fisiológica desempenhada pela casca, de proteção do câmbio câmbio e do xilema contra a entrada de patógenos e saída de água, é alcançada com uma determinada espessura. Dessa forma, nas porções apicais há uma alocação de material com Considerando que na altura do peito o fator K aproxima-se do máximo para a árvore, estimativas da fração de casca a partir de medidas neste ponto tendem a subestimar o valor real.

Os valores apresentados nesse trabalho permitem a estimativa da massa seca da madeira e da casca de árvores de *Hovenia dulcis*, parâmetro que pode ser utilizado nas estimativas do acúmulo de carbono, de energia, na estimativa de propriedades mecânicas e na proposição de programas de secagem.

## Conclusões

Do ponto de vista do poder calorífico superior todas as biomassas estudadas têm potencial energético, destacando-se o carvão vegetal.

Com relação ao teor de cinzas deve-se ressaltar as biomassas de casca de Eucalipto e o Resíduo florestal *mix* que apresentaram os teores mais elevados, e também os maiores índices de álcalis, que relacionam a formação de depósitos com a produção de cinzas.

Não se recomenda a utilização das aparas de MDF e de aglomerado, pois além da alta tendência a formação de depósitos nas superfícies dos geradores de vapor, precisa-se levar em consideração os aspectos ambientais e de toxicidade, relacionados à combustão.

Deve ressaltar que apesar do carvão vegetal apresentar alto poder calorífico e baixo teor de cinzas, tem alta tendência à formação de escórias e incrustações. Considerando o baixo índice de álcalis, que relaciona a produção de cinzas com a formação de depósitos, o carvão vegetal torna-se um biocombustível com bom potencial dentre as biomassas analisadas.

De maneira geral, os briquetes e as serragens de madeira também apresentam boas propriedades energéticas e baixa tendência à formação de depósitos.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 14660**: Madeira – Amostragem e preparação para análise. São Paulo, 2004. 7p.

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.

BORTOLIN, T.A.; TRENTIN, A.C.; PERESIN, D.; SCHNEIDER, V.E. Estimativa da geração de resíduos florestais no Brasil. **3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente**. Bento Gonçalves. 2012.

BOSTRÖM, D.; GRIMM, A.; SKOGLUND, N.; BOMAN, C.; ÖHMAN, M.; BROSTRÖM, M.; BACKMAN, R. Ash transformation chemistry during combustion of biomass. **Energy & Fuels**, v. 26, n.1, p. 85-93. 2012.

BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro, RJ: Interciência, 2010, 114p.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. **IPEF**, v. 16, p. 63-70. 1978.

CARPENTER, A.M. Use of PCI furnace in blast furnaces. **IEA Clean Coal Centre**. 2006.

DAYTON D. C.; JENKINS B. M.; TURN S. Q.; BAKKER R. R.; WILLIAMS R.B.; BELLEOUDRY D.; HILL L. M. Release of inorganics constituents from leached biomass during thermal conversion. **Energy & Fuels**, v. 13, n. 4, p. 860-870. 1999.

ELOY, E.; SILVA, D. A.; CARON, B. O.; SOUZA, V. Q.; BEHLING, A.; ELLI, E.; MONTEIRO, G. C. Caracterização da biomassa da madeira e da casca de *Mimosa scabrella* Benth cultivada em dois diferentes espaçamentos. **Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, v. 6, n. 1, p.38-46. 2015. DOI: 10.12953/2177-6830/rcm.v6n1p38-46

- GOMES, T. C.; BIANCHI, M. L.; PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; JÚNIOR PEREIRA, A. Qualidade da madeira de cinco espécies de ocorrência no cerrado para produção de carvão vegetal. **Cerne**, v. 20, n. 1, p. 37-46. 2014.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **World Energy Outlook 2013**. Capítulo 6. 2013. Disponível em: <http://goo.gl/X7HY5U>. Acesso em: 30 nov. 2014
- JENKINS, B. M.; BAXTER, L. I.; MILES JR, T.R.; MILES, T. R. Combustion properties of biomass. **Fuel Processing Technology**, v. 54, p.17-46. 1998.
- MILES, T. R., MILES JR, T.R., BAXTER, L.L., BRYERS, R.W., JENKINS, B.M. AND ODEN, L.L. Alkali deposits found in biomass power plants: a preliminary investigation of their extent and nature. **National Renewable Energy Laboratory**. Golden, CO. 1996.
- MINGLE, J. G.; BOUBEL, R. W. Proximate Fuel Analysis of Some Western Wood and Bark. **Wood Science**, v. 1, n. 1, p. 29-36. 1968.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. Balanço Energético Nacional 2013: Ano base 2012. **Empresa de Pesquisa Energética**. Rio de Janeiro: EPE. 2013.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Aproveitamento de resíduos e subprodutos florestais, alternativas tecnológicas e propostas de políticas ao uso de resíduos florestais para fins energéticos**. Curitiba, PR. 2009.
- MUNIR, S.; NIMMO, W.; GIBBS, B. M. Potential Slagging and Fouling Problems associated with Biomass-Coal blends in Coal-fired Boilers. **Journal of Pakistan Institute of Chemical Engineers**, v. 38, n. 1, p. 1-11. 2010.
- NETTO, F. G. B.; OLIVEIRA, A. G. P.; COUTINHO, H. W. M. A.; NOGUEIRA, M. F. M.; RENDEIRO, G. Caracterização energética de biomassas amazônicas. **Encontro de energia no meio rural**, n.6, Campinas. 2006.
- PRNOBIS, M. Evaluation of the influence of biomass co-combustion on boiler furnace slagging by means of fusibility correlations. **Biomass and Bioenergy**, v. 28, n. 4, p. 375-383. 2005.
- PROTÁSIO, T. P.; SANTANA, J. D. P.; GUIMARÃES NETO, R. M.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; TRUGILHO, P. F.; RIBEIRO, I. B. Avaliação da qualidade do carvão vegetal de *Qualea parviflora*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, 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 Eucalipto spp. aos 42 meses de idade. **Pesquisa Florestal Brasileira**, 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. R. S. B. Qualidade da madeira e do carvão vegetal oriundos de floresta plantada em Minas Gerais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 78, p. 111-123. 2014.
- QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. C. S. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira**, n. 89, p. 100-106. 2005.
- SILVA, D.A.; ALMEIDA, V.C.; VIANA, L.C.; KLOCK, U.; MUÑIZ, G.I.B. Avaliação das Propriedades Energéticas de Resíduos de Madeiras Tropicais com Uso da Espectroscopia NIR. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 4, p. 561-568. 2014.
- SJÖSTRÖM, E. **Wood chemistry: fundamentals and application**. London: Academic Press, p.293. 1993.
- STCP. Otimização da gestão de resíduos e o desenvolvimento florestal. **II Encontro Nacional de Gestão de Resíduos – ENEGER**. Curitiba. 2011.
- STEENARI B. M.; LINDQVIST O. Stabilisation of biofuel ashes for recycling to forest soil. **Biomass and Bioenergy**, v. 13, n. 1. p. 39-50. 1997.
- TILLMAN, D.A.; HARDING, N.S. **Fuels of Opportunity: Characteristics and Uses in Combustion Systems**. United Kingdom: Elsevier, 2004.
- VAMVUKA, D.; KAKARAS, E. Ash properties and environmental impact of various biomass and coal fuels and their blends. **Fuel Processing Technology**, v. 92, n. 3, p. 570-581. 2011.
- VAMVUKA, D.; TRIKOUVERTIS, M.; PENTARI, D.; ALVIZOS, G. Evaluation of ashes produced from fluidized bed combustion of residues from oranges plantations and processing. **Renewable Energy**, v. 72, p. 336-343. 2014.
- VASSILEV, S. V.; BAXTER, D.; ANDERSEN, L. K.; VASSILEVA, C. G. An overview of the chemical composition of biomass. **Fuel**, v. 89, n. 5, p. 913-933. 2010.