

PROPRIEDADES DA MADEIRA DO HÍBRIDO *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* PARA USO ENERGÉTICO NO MATO GROSSO

TATIANA PAULA MARQUES DE ARRUDA¹, PAULO RICARDO GHERARDI HEIN²,
ALESSANDRA DE SOUZA FONSECA³, JONNYS PAZ CASTRO⁴

Recebido em 26.02.2013 e aceito em 14.10.2013.

¹ Doutora em Ciência e Tecnologia da madeira pela Universidade Federal de Lavras – MG. Professora assistente no Departamento de Engenharia Florestal. Universidade do Estado de Mato Grosso. Campus de Alta Floresta. Avenida: Perimetral Rogério Silva s/n°. Caixa Postal 324. Jardim Flamboyant, CEP 78.580-000. tatianarruda@ig.com.br.

² Doutor, Professor no Instituto de Ciências Agrárias. Universidade Federal de Minas Gerais. Campus Universitário Montes Claros-MG. CEP 39. 404-547. paulohein.ufmg@gmail.com

³ Mestre, Doutoranda em Ciência e Tecnologia da Madeira. Universidade Federal de Lavras. Campus Universitário de Lavras. Caixa Postal 37, CEP 37.200-000. adnax_florestal@hotmail.com

⁴ Mestre, Doutorando em Ciência e Tecnologia da Madeira. Universidade Federal de Lavras, Campus Universitário de Lavras. Caixa Postal 37, CEP 37.200-000. jonnys_33@hotmail.com

RESUMO: O objetivo do trabalho foi avaliar o potencial da madeira do *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* plantados no Estado de Mato Grosso para utilização como florestas energéticas. A amostragem foi aleatória por meio da coleta de três árvores, que foram analisadas pela retirada de discos nas posições longitudinais de 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial com idade de seis anos. Para avaliar a massa específica, os elementos celulares, lignina solúvel e insolúvel, extrativos totais, componentes inorgânicos e poder calorífico superior foram retiradas cunhas opostas dos discos amostrados. A madeira foi avaliada na carbonização, em rendimentos em carvão vegetal, licor pirolenhoso e gases não condensáveis. O carvão vegetal foi avaliado pela análise química imediata, com a determinação de materiais voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo em base seca. Verificou-se que não existe diferença para o efeito de posição longitudinal de amostragem, para massa específica, comprimento de vaso, comprimento de fibra, espessura da parede da fibra, diâmetro de lume da fibra e largura da fibra. Os teores de cinzas foram baixos, conforme literatura. Os valores observados de lignina e extrativos estão dentro da média para a madeira de eucalipto. O híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* plantado no Mato Grosso possui propriedade satisfatória como florestas energéticas. Assim, pode-se suprir a demanda energética na forma de lenha e carvão vegetal, atendendo as agroindústrias e outros segmentos.

Palavras-chave: *Eucalyptus*, qualidade da madeira, energia de biomassa, carvão vegetal.

PROPERTIES OF WOOD HYBRID *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* FOR ENERGETIC USE IN MATO GROSSO

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the wood potential of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* planted in Mato Grosso state for use as energy forests. Sampling was random by collecting three trees, which were analyzed by removing discs in longitudinal positions of 0%, 25%, 50%, 75% and 100% of the commercial height with six years. To evaluate the specific mass, cellular elements, soluble and insoluble lignin, total extractives, inorganic components and superior calorific power were removed opposing wedges from the disks sampled. The wood was evaluated in the carbonization in charcoal yield, pyroligneous liquor and non condensable gases. The charcoal was evaluated by chemical analysis with the determination of volatile materials, ash and fixed carbon content on dry basis. It was found that there is no significant effect longitudinal position sampling for specific mass, vessel length, fiber length, fiber wall thickness, fiber lumen diameter and fiber width. The fixed carbon content was very close to the values reported in the literature. The observed values of lignin and extractives are average for eucalyptus wood. The hybrid of *E. grandis* x *E. urophylla* planted in Mato Grosso has satisfactory properties as energy forests. Thus, it can supply the energy demand in the form of firewood and charcoal, serving agricultural industries and other segments.

Key words: *Eucalyptus*, wood quality, biomass energy, charcoal.

INTRODUÇÃO

No setor energético, a madeira é tradicionalmente chamada de lenha e ao longo do desenvolvimento da humanidade esta ofereceu histórica contribuição, participando de forma importante na matriz energética mundial (Brito, 2007). A lenha é uma importante fonte de geração de calor. Nesse contexto há uma crescente busca mundial por alternativas de fontes renováveis de energia, em que a projeção para o período de 2012 a 2020 indica um crescimento médio da demanda de 5,2% a.a., oportunidade para produzir energia a partir de biomassa, uma fonte de baixo custo e investimento, ecologicamente adequada e socioeconomicamente correta. A biomassa é apontada como um complemento mais limpo e seguro, por utilizar fontes de madeira e seus subprodutos (Anuário Estatístico da Associação Brasileira de produtos de florestas plantadas - ABRAF, 2011).

O consumo de lenha para geração de energia doméstica são indicadores de subdesenvolvimento econômico em determinadas regiões, no caso do Brasil brasileiro esse aumento é decorrente, principalmente do crescimento das indústrias (siderurgia a carvão vegetal, agroindústrias, cerâmicas e alimentos), criando-se o termo “florestas energéticas” para o cultivo de *Eucalyptus* e *Pinus* destinados a fornecer madeira para a geração de energia, principalmente para as indústrias. Com isso, as florestas plantadas possuem capacidade de contribuir com o crescimento sustentável dos setores industriais os quais são consumidores de biomassa florestal (ABRAF, 2012).

A silvicultura intensiva no Estado de Mato Grosso encontra-se em sua fase inicial com menos de 0,2% do território estadual. No entanto, o agronegócio, envolvendo a produção e o processamento de grãos e fibras como a soja e o algodão, bem como a pecuária de corte e a avicultura, expandiram-se rapidamente nas últimas décadas, demandando volumes crescentes de madeira para fins energéticos. Assim, propiciou a retomada dos investimentos para o estabelecimento de povoamentos florestais destinados, prioritariamente, à produção de lenha e madeira para fins estruturais (Shimizu et al., 2007).

No estado de Mato Grosso, dentre outros localizados em região quente, a lenha consumida é do gênero *Eucalyptus* (ABRAF, 2012). Dentre as vantagens desse gênero, a maior delas é a

facilidade para obtenção de cruzamentos entre diferentes espécies, processo conhecido como hibridação. O resultado da combinação entre o *Eucalyptus grandis* e o *Eucalyptus urophylla*, é um dos híbridos mais conhecidos e usados no Brasil. A mistura reúne as melhores características do *Eucalyptus grandis*, como crescimento e qualidade da madeira, e do *Eucalyptus urophylla*, com adaptação e resistência a doenças (Conselho de informação sobre biotecnologia - CIB, 2008).

Para avaliação da qualidade da madeira para fins energéticos, parte-se da verificação da densidade da matéria-prima, visto que, maiores densidades da madeira resultam em melhor queima, devido à maior quantidade de matéria lenhosa por volume (Burger & Richter, 1991). Panshin & De Zeeuw (1964) afirmaram que a densidade básica depende do tamanho das células, da espessura da parede celular e do número de células presentes de vários tipos, ainda acrescentam que a dimensão das fibras é fundamental para a variação da magnitude da densidade. Dessa forma, a avaliação das características anatômicas é importante para a verificação do potencial energético da madeira. De maneira complementar, a composição química da madeira, em seus teores de lignina, extrativos e compostos inorgânicos fornecem informações a respeito do potencial térmico da madeira, bem como o poder calorífico, que quantifica a energia a ser liberada numa combustão completa.

Diante da crescente demanda de energia térmica no Estado de Mato Grosso, devido ao crescimento contínuo do agronegócio, o híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* vem sendo implantado com o objetivo de suprir essa necessidade energética. Porém, sabe-se que as características da madeira desse híbrido não são controladas unicamente por fatores genéticos, mas também por fatores ambientais, como o local, condições de crescimento e tratamentos silviculturais. Dessa forma, conhecer as propriedades da madeira desse híbrido plantado no Estado de Mato Grosso é de fundamental importância para verificar o potencial desses povoamentos para utilização energética.

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar o potencial da madeira do *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*

plantada no Estado de Mato Grosso para utilização como fonte energética.

MATERIAL E MÉTODOS

Material biológico e amostragem

Foram utilizadas árvores do cruzamento entre *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com idade de seis anos, coletadas na fazenda Água Limpa localizada no município de Campo Verde – MT, altitude de 749 metros, clima tropical com estação seca (classificação Köppen-Geiger: AW). Foram coletados dados de três árvores, retiradas aleatoriamente no povoamento. Discos com aproximadamente cinco centímetros de espessura foram retirados ao longo do tronco nas posições de 0% (base), 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial (Figura 1). As avaliações de massa específica, características anatômicas e as propriedades químicas e térmicas foram realizadas a partir de cunhas opostas (livres de defeitos) retiradas dos discos. O intuito principal do estudo é avaliar as propriedades energéticas da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* largamente utilizada no Estado de Mato Grosso como lenha para geração de calor. As propriedades de massa específica e anatômica foram avaliadas ao longo do fuste nas alturas mencionadas. A análise química e, o poder calorífico da madeira, a carbonização, os rendimentos no processo de carbonização e análise química imediata foram analisadas por amostras compostas representativas de toda a árvore. A carbonização foi realizada com a finalidade de verificar as características de qualidade do carvão vegetal produzido a partir da madeira do *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* na forma de carvão vegetal.

Massa específica da madeira

A massa específica da madeira foi determinada nas duas cunhas opostas de cada disco por meio do método de imersão, descrito na Norma Brasileira- NBR 11941 (Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 2003).

Análise anatômica

Para determinação da espessura da parede da fibra (EPF), largura das fibras (LF), comprimento de fibras (CF), comprimento dos vasos (CV), o lenho foi dissociado, por meio da retirada de lascas no plano longitudinal e imersas em uma mistura de ácido acético glacial e peróxido de hidrogênio na proporção de 1:1 (v/v)

e levadas à estufa, a 60 °C, durante 24 horas. Em seguida, o material dissociado foi lavado em água corrente e corado com safranina hidroalcoólica 1%, conforme descrito por Franklin (1945). Para observação dos elementos celulares dissociados, foram confeccionadas lâminas semipermanentes, misturando-se uma porção do material dissociado em gotas de glicerina entre lâmina e lamínula. As mensurações foram realizadas com o auxílio do software Wincell[®]. Foram realizadas 30 medições para cada elemento celular.

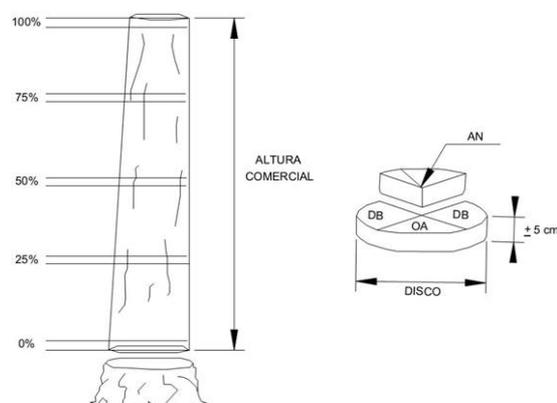


Figura 1. Esquema de amostragem em forma de disco ao longo da altura comercial do híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. Db: massa específica, AN: anatomia, O.A: outras amostragens (análise química, poder calorífico superior, carbonização)

Análise química

As cunhas opostas foram transformadas em cavacos, moídas e classificadas nas peneiras de 40 e 60 mesh para determinação das propriedades químicas. O material utilizado na análise foi a fração que passou na peneira de 40 mesh e ficou retida na peneira de 60 mesh.

A lignina solúvel foi determinada de acordo com Goodschimid (1971) e a lignina insolúvel determinada pela metodologia proposta por Gomide & Demuner (1986). Os extrativos totais foram determinados conforme a Norma NBR 14853 (ABNT, 2010) e os componentes inorgânicos de acordo com o protocolo descrito na NBR 13999 (ABNT, 2003).

Poder calorífico superior

O poder calorífico superior da madeira foi determinado a partir do material moído que passou na peneira de 40 mesh e ficou retido na peneira de 60 mesh por meio de uma bomba calorimétrica, conforme a Norma NBR 8633 (ABNT, 1984).

Parâmetros da carbonização

No processo de produção de carvão vegetal foram realizadas oito carbonizações, utilizando-se amostras compostas ao longo da altura das árvores. As carbonizações foram realizadas num forno elétrico tipo mufla, com sistema de recuperação de gases. Foi utilizada uma marcha de carbonização de seis horas, taxa de aquecimento de $1,53 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ e temperatura final de carbonização de $550 \text{ }^\circ\text{C}$. As amostras em forma de cunhas foram previamente secas em estufa a 100°C e inseridas num reator cilíndrico de ferro fundido e tampa rosqueável e conduzidas à carbonização manualmente. Após a carbonização foi determinado o rendimento gravimétrico em carvão (RGC), em líquido pirolenhoso (RLP) e, por diferença os gases não condensáveis (RGNC). Para a análise química imediata foram realizadas oito repetições, determinando-se o teor de umidade, materiais voláteis (MV), cinzas (CZ) e o teor de carbono fixo (CF) pela diferença entre materiais voláteis e cinzas, conforme a Norma NBR 8112 (ABNT, 1986).

Análise dos dados

O delineamento foi inteiramente casualizado (DIC). A massa específica e propriedades anatômicas quantitativas foram avaliadas pela ANOVA e teste de médias a 5% de probabilidade nas posições longitudinais 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial e avaliados os coeficientes de correlação linear simples de Pearson. As propriedades químicas e poder calorífico da madeira, análise química imediata do carvão vegetal e rendimentos do processo de carbonização foram sumarizados pelo uso da estatística descritiva, utilizando-se amostras compostas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Propriedade física e anatômica da madeira

Pela análise de variância verificou-se que não existe diferença significativa (a 95% de

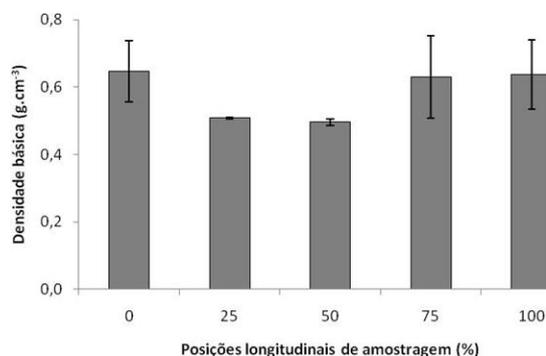
confiança) para o efeito de posição longitudinal de amostragem, para as variáveis: massa específica, comprimento de vaso, comprimento de fibra, espessura da parede da fibra, diâmetro de lume da fibra e largura da fibra (Tabela 1).

Tabela 1. Análise de variância para massa específica (ρ), comprimento de vaso (CV), comprimento de fibra (CF), espessura parede fibra (EPF), diâmetro lume fibra (DLF) e largura fibra (LF)

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio					
		ρ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	CV (μm)	CF (μm)	EPF (μm)	DLF (μm)	LF (μm)
Posição longitudinal	4	0,02 ^{ns}	3819 ^{ns}	6288 ^{ns}	0,28 ^{ns}	3,41 ^{ns}	1,80 ^{ns}
Erro	10	0,02	2102	5969	0,26	2,82	2,07
C.V%		24,48	13,98	8,6	12,4	39,53	17,20

^{ns}: não significativo a 95% de probabilidade

Os valores médios observados para a massa específica nas diferentes posições longitudinais de amostragem estão representados na Figura 2.



Figuras 2. Médias da massa específica observadas nas posições longitudinais de amostragem para o híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*.

Kumar et al. (2011) relataram que espécies com maiores massa específica são preferidas como fontes energéticas, devido ao maior teor de energia por unidade de volume. O maior valor da massa específica foi observado na altura da base (0%) e diminuição nas alturas de 25 a 50% e aumento a partir de 75% da altura. O comportamento da massa específica em relação à altura mostrou-se

semelhantes a outros estudos (Souza et al., 1986; Roque & Ledezma, 2003; Arruda et al., 2012).

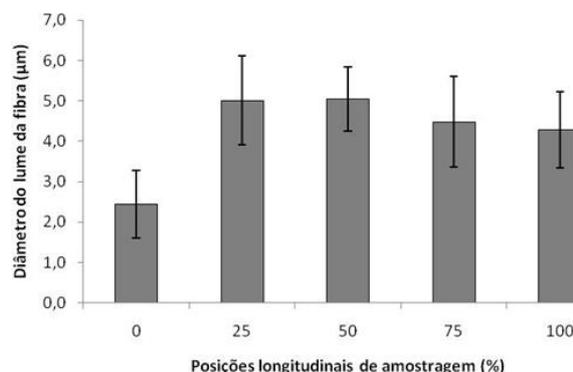
De acordo com Glass & Zelinka (2010) madeira com massa específica na faixa entre 0,500 a 0,600 g.cm⁻³ é considerada pesada, característica desejada para madeira quando destinada à geração de energia. Estudos das propriedades de clones de *Eucalyptus* em diferentes regiões para produção de carvão vegetal apresentou variação da massa específica média de 0,419 a 0,506 g.cm⁻³ (Neves et al., 2011).

Soares (2011) estudando o *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em diferentes idades, observou que a maturidade da árvore promove o aumento da massa específica (0,370, 0,440 e 0,540 g.cm⁻³) nas idades de 3, 5 e 7 anos, respectivamente. Trugilho et al. (2001) estudaram 7 clones de *Eucalyptus grandis* com idade de 7 anos e obtiveram massa específica média de 0,555 g.cm⁻³. Vital (1984) relata que a idade influencia no aumento da massa específica em consequência do aumento da espessura da parede celular e da diminuição da largura das células.

A espessura de parede das fibras é parâmetro importante quando se procura correlacionar às propriedades físico-mecânicas da madeira, porque maiores espessuras de parede tendem a aumentar a massa específica, o que favorece nas propriedades energéticas. Segundo Trugilho et al. (2005), a massa específica está correlacionada positivamente com a espessura da parede da fibra e negativamente com o diâmetro do lume das fibras. Fibras mais espessas e diâmetro de lume menor são características de madeiras mais densas.

De acordo com Lemos et al. (2012) fibras mais largas apresentam maior espessura de parede e maior diâmetro de lume, ou seja, maior espaço vazio, o que contribui para uma menor massa específica.

Não houve diferença significativa do diâmetro do lume da fibra (Tabela 1) em relação às posições longitudinais, porém, observa-se que na Figura 3 variações entre as posições longitudinais, em que a posição 0% (base) apresentou menor diâmetro de lume de fibra e maior massa específica (Figura 2). Os resultados deste estudo assemelham-se à afirmação de Lemos et al. (2012). Contudo, acredita-se que a não significância para esse parâmetro se deve a baixa representatividade amostral.



Figuras 3. Médias do diâmetro de lume da fibra observadas nas posições longitudinais de amostragem para o híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*.

De forma geral a diferenciação dos elementos anatômicos quantitativamente são parâmetros importantes na identificação das propriedades de qualidade da madeira, sobretudo para fins energéticos. Na Figura 4 estão representados os valores observados dos elementos celulares quantitativos nas diferentes posições longitudinais do fuste.

O comprimento de fibras apresentou aumento na posição da base (0%) até 25% da altura, com decréscimo nas alturas de 50%, 75% e 100%. Lima et al. (2011) estudaram a *Cariniana legalis* com 26 anos e observaram tendência de aumento do comprimento e espessura da fibra no sentido medula-casca. Já Lemos et al. (2012) observaram uma redução gradual no comprimento da fibra de *Corymbia citriodora* no sentido base/topo da árvore para a região do alburno. O comprimento do vaso aumentou da base (0%) para o meio da árvore (25 a 50%), diminui aos 75% e aumenta-se na altura de 100%. Lemos et al. (2012) não encontraram variações marcantes no comprimento do vaso nas posições cerne/alburno para a madeira de *Corymbia citriodora*, mas variações significativas entre as alturas (Figura 4A).

Observa-se que a espessura da parede das fibras e a largura das fibras (Figura 4B) apresentaram variações nas diferentes posições longitudinais de amostragem, porém não foram significativas (Tabela 1). A maior espessura da parede da fibra foi observada na posição da base (0%). Comportamento parecido foi observado na madeira de

Corymbia citriodora na região do cerne, não havendo variação na espessura da parede da fibra nas diferentes posições longitudinais, mas uma redução na região do albúrnio na posição de 75% da altura do fuste (Lemos et al., 2012).

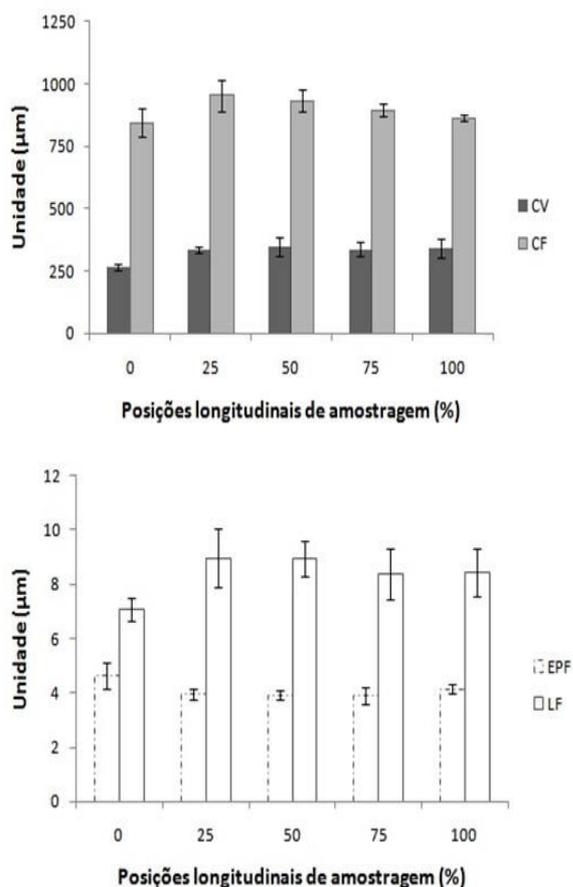


Figura 4. Dimensões dos elementos celulares ao longo do fuste do híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. A: comprimento de vaso (CV) e comprimento de fibra (CF); B: espessura da parede da fibra (EPF) e largura da fibra (LF)

Segundo Tsoumis (1968) citado por Urbinati et al. (2003), a base é a região com maior proporção de lenho juvenil, o que implica em maior variação dimensional devido às diferenças de frequência, diâmetros e comprimentos das células.

Na Tabela 2 encontram-se os coeficientes da correlação linear simples de Pearson entre as

variáveis anatômicas de fibras e a massa específica da madeira.

Tabela 2. Coeficientes de correlação linear simples de Pearson

	CF	EPF	LF	DLF	ME
CF	1				
EP	-0,80	1			
LF	0,86	-0,94	1		
DLF	0,85	-0,97	0,99	1	
ME	-0,92	0,60	-0,75	-0,72	1

CF: comprimento de fibra (µm); EP: espessura da parede da fibra (µm); LF: largura da fibra (µm); DLF: diâmetro do lume da fibra (µm); ME: massa específica (g.cm⁻³). P > 0,05.

Observaram-se correlações significativas entre as variáveis anatômicas das fibras e massa específica. Trugilho et al. (1996) encontraram correlação significativa ($r = 0,87$) entre a espessura da parede da fibra e largura da fibra, bem como, entre comprimento de fibra e espessura de parede ($r = 0,92$), em estudos com *Eucalyptus saligna* em diferentes idades e posição longitudinal do fuste.

De forma geral, a massa específica apresentou correlação significativa com as características dimensionais das fibras. Resultados semelhantes foram encontrados por Trugilho et al. (1996), exceto para a variável diâmetro do lume que não é significativo.

Propriedades químicas da madeira e carvão vegetal

Na Tabela 3 estão representadas as propriedades químicas da madeira, rendimentos e análise química imediata do carvão vegetal.

Os valores obtidos para lignina e extrativos estão próximos da média para as madeiras de Eucalipto. Em estudos com o gênero *Eucalyptus* encontraram teores de lignina de 27,5 até 31,7% (Gomide et al., 2005); 27,93 até 32,75% (Trugilho et al., 2001) e para extrativos teores de 1,98 a 3,31% (Sansígolo & Ramos, 2011); 4,85 a 7,75% (Trugilho et al., 2001). De acordo com Clarke et al. (1997) o poder calorífico está associado aos teores de lignina e extrativos, onde as proporções esperadas para o gênero *Eucalyptus*, são 24% para lignina e 2% para extrativos.

Tabela 3. Resultados médios observados para as propriedades da madeira

Estatísticas	Madeira				Carvão vegetal					
	PCS	TLG	TEX	TCI	TMV	TCZ	TCF	RGC	RLP	RGNC
Média geral	4.734	31	4	0,12	21,77	0,85	77,38	36,12	44,62	19,26
CV (%)	0,14	2,63	12,86	24,53	2,14	2,89	0,60	2,52	2,72	4,10
Erro padrão	3,74	0,47	0,27	0,03	0,09	0,00	0,09	0,32	0,43	0,28

PCS=poder calorífico superior (kcal.kg^{-1}); TLG= teor de lignina; TEX= teor de extrativos; TCI= teor de compostos inorgânicos; TMV= teor de materiais voláteis; TCZ= teor de cinzas; TCF= teor de carbono fixo; RGC=rendimento gravimétrico em carvão; RLP=rendimento em licor pirolenhoso; RGNC= rendimento gases não condensáveis; CV=coeficiente de variação.

O teor de compostos inorgânicos foi abaixo da faixa considerada normal para o gênero *Eucalyptus*, de 0,20 a 1,00% da massa seca de madeira (Tsoumis, 1991). Observou-se que o poder calorífico superior médio obtido está dentro dos valores determinados para madeira de folhosas (Howard, 1973). Estudos com o híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* foram observados valores de 4.200 a 4.800 kcal.kg^{-1} de poder calorífico superior (Soares, 2011).

O teor de carbono fixo observado nesse estudos estão aos observados na literatura. Trugilho et al. (2001) obtiveram uma média de 79,6% de carbono fixo em carvão vegetal de clones de *Eucalyptus*, com taxa de aquecimento de 1,67 °C, temperatura final de 450 °C e tempo de carbonização de quatro horas. Botrel et al. (2007) utilizando a mesma taxa de aquecimento, temperatura final e tempo de carbonização observaram 74,25% de carbono fixo em madeira de *Eucalyptus*.

Protásio et al. (2011) observaram rendimento em carbono fixo e materiais voláteis de 75,89% e 21,18% respectivamente, para a madeira de *Qualea parviflora*. Valores de materiais voláteis próximos ao encontrado neste trabalho.

Segundo Santos (2008), os valores ideais de carbono fixo para uso de carvão em siderurgia, encontram-se na faixa de 78 a 80%. O teor de carbono fixo observado neste trabalho encontra-se próximo à faixa referida pelo autor. Sabe-se que o carvão vegetal destinado às indústrias siderúrgicas são os que requerem melhores propriedades de qualidade, dessa forma, evidencia a qualidade do carvão vegetal produzido a partir do *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* plantados no Estado de Mato Grosso.

De acordo com Sturion (1988), o teor de cinzas varia de 0,5% a mais de 5%, dependendo da espécie, porém um bom carvão vegetal deve ter um conteúdo de cinzas inferior a 3%. Os clones e espécies de *Eucalyptus* apresentam normalmente, conforme observada em literatura, baixos teores de cinzas, 0,33 a 1,53% (Trugilho et al., 2001; Trugilho et al., 2005; Botrel, et al., 2007; Soares, 2011).

Silva et al. (1986) avaliaram a carbonização do *Eucalyptus grandis* com nove anos de idade em temperatura final de carbonização de 500 °C e obtiveram rendimento em carvão vegetal de 30,13%, rendimento em líquido de 42,88% e gases não condensáveis de 26,98%.

Porém, Santiago & Andrade (2005) carbonizaram o lenho do *Eucalyptus urophylla* com idade de sete anos em temperatura final de 600 °C e obtiveram 24,30% em rendimento em carvão, 46,41% em líquidos e 28,29% em gases não condensáveis. Observa-se que os rendimentos observados neste trabalho, bem como as literaturas citadas, a temperatura final de carbonização é um parâmetro importante na determinação dos rendimentos na produção de carvão vegetal.

CONCLUSÃO

O híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* plantado no Estado de Mato Grosso apresenta propriedades para geração de energia, podendo atender à necessidade de energia térmica pelas agroindústrias, aliado ao fato do estado apresentar extensivas áreas para implantação de florestas. Assim, essa matéria-prima possui potencial para conversão térmica na forma de

lenha, bem como em carvão vegetal, podendo atender outros setores da região.

AGRADECIMENTO

A Universidade do Estado de Mato Grosso, Campus de Alta Floresta, e a Reflorestadora KLM pela matéria-prima fornecida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14853: determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano e em acetona**. Rio de Janeiro: ABNT, 3p. 2010.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13999: determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525 °C**. Rio de Janeiro: ABNT, 4p. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112: carvão vegetal: análise imediata**. Rio de Janeiro. 8p. 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633: carvão vegetal: determinação do poder calorífico**. Rio de Janeiro. 13p. 1984.

ABRAF. **Anuário Estatístico da Associação Brasileira de produtos de Florestas plantadas 2011 ano base 2010**. Brasília. 130 p. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTOS DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da Associação Brasileira de Produtos de Florestas Plantadas: 2012, ano base 2011**. Brasília, 2012. 150 p.

ARRUDA, T.P.M. de; LOGSDON, N.B.; SILVA, J.R.; LIMA, D.F.; PROTÁSIO, T. de P. Variação das densidades aparente e básica da madeira de *Tectona grandis* de primeiro desbaste. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA – EBRAMEM. UFES/Vitória. **Anais...** Vitória/ES: 2012.

BOTREL, M.C.G.; TRUGILHO, P.F.; ROSADO, S. C. S.; SILVA, J. R. M. Melhoria genética das propriedades do carvão vegetal de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa, v.31, n.3, p.391-398, 2007.

BRITO, J.O. O uso energético da madeira. **Estudos avançados**, São Paulo, v.21, n.59, p.185-193, 2007.

BURGER, L.M.; RICHTER, H.G. **Anatomia da madeira**. São Paulo. 1991. 154p.

CLARKE, C.R.E.; GARBUTT, D.C.F.; PEARCE, J. Growth and wood properties of provenances and trees of nine Eucalypt species. **Appita**, Carlton, v.50, n.2, p.121-130, 1997.

Conselho de Informação sobre Biotecnologia - CIB. **Guia do Eucalipto: Oportunidade para um desenvolvimento sustentável**. 20 p. Maio, 2008.

FRANKLIN, G.L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood – resin composites, and a new macerating method for wood. **Nature**, London, v.155, n.3924, p.51, 1945.

GLASS, S.V.; ZELINKA, S.L. Moisture Relations and Physical Properties of Wood. In: **Wood handbook - Wood as an engineering material**. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. p.4.1-4.19, 2010.

GOMIDE, J.L.; COLODETTE, J.L.; OLIVEIRA, R.C.; SILVA, C.M. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.1, p.129-137, 2005.

GOMIDE, J.L.; DEMUNER, B.J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O papel**, São Paulo, v.47, n.8, p.36-38, 1986.

GOODSCHIMID, O. Ultraviolet spectra. In: Sarkanen, K. V.; LUDWIG, C. H. (Ed). **Lignins: occurrence, formation, structure and reactions**. New York; J. Wiley Interprice, p. 241-298, 1971.

- HOWARD, E.T. Heat of combustion of various southern pine materials. **Wood Science**, Tokyo, v.5, n.3, p.194-197, 1973.
- KUMAR, R.; PANDEY, K.K.; CHANDRASHEKAR, N.; MOHAN, S. Study of age and height wise variability on calorific value and other fuel properties of *Eucalyptus* hybrid, *Acacia auriculaeformis* and *Casuarina equisetifolia*. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v.35, n.3, p. 1339-1344. 2011.
- LEMOS, A.L.F.; GARCIA, R.A.; LOPES, J. O.; CARVALHO, A. M.; LATORRACA, J. V. F. Madeira de *Corymbia citriodora* (Hook) K. D. Hill & L.A.S. Johnson sob aspectos físicos e anatômicos como fatores qualitativos. **Floresta e Ambiente**, São Paulo, v.19, n.1, p.1-8, 2012.
- LIMA, I.L.G.; LONGUI, L.E.; GARCIA, M. F.; ZANATTO, A. C. S.; FREITAS, M. L. M. Variação radial da densidade básica e dimensões celulares da madeira de *Cariniana legalis* (Mart.) O. Kuntze em função da procedência. **Cerne**, Lavras, v. 17, n.4, p.517-524, 2011.
- 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.
- PANSHIN, A.J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 2 Ed. New York: McGraw-Hill; 603p. 1964.
- PROTÁSIO, T.P.; SANTANA, J.D.P.; NETO, R.M.G.; JUNIOR, J.B.G.; TRUGILHO, P.F.; RIBEIRO, I.B. Avaliação da qualidade do carvão vegetal de *Qualea parviflora*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.31, n.68, p.295-307, 2011.
- ROQUE, R.M.; LEDZEMA, V.A. Efecto Del espaciamento en platación sobre dos propiedades físicas de madera de teca a lo largo Del fuste. **Madera y Bosques**, Xapala, v.9, n.2, p 17-25, 2003.
- SANSÍGOLO, C.A.; RAMOS, E.S. Quality of Wood and pulp from a clone of *Eucalyptus grandis* planted at three locations. **Cerne**, Lavras, v.17, n.1, p.47-60, 2011.
- SANTIAGO, A.R.; ANDRADE, A.M. de. Carbonização de resíduos do processo mecânico da madeira de eucalipto. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.15, n.1, p.1-7, 2005.
- SANTOS, M.A.S. Uso do carvão vegetal em alto forno. In: FÓRUM NACIONAL DE CARVÃO VEGETAL, 1, 2008, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SIF, 2008.
- SHIMIZU, J.Y.; KLEIN, A.; OLIVEIRA, J.R. V. de. **Diagnóstico das plantações florestais em Mato Grosso**. Cuiabá. MT. 33p. 2007.
- SILVA, J. de C. e; BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O. Endocarpos de babaçu e de macaúba comparados a madeira de *Eucalyptus grandis* para a produção de carvão vegetal. **IPEF**, Piracicaba, n.34, p.41-34, 1986.
- SOARES, V.C. **Comportamento térmico, químico e físico da madeira e carvão de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em diferentes idades**. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da madeira). Universidade Federal de Lavras. Lavras-MG. 108p. 2011.
- SOUZA, V.R.; CARPIM, M.A.; BARRICHELO, L.E.G. Densidade básica entre procedências, classes de diâmetro e posições em árvores de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, **IPEF**, Piracicaba, n.33, p.65-72, 1986.
- STURION, J.A.; PEREIRA, J.C.D.; CHEMIN, M.S. Qualidade da madeira de *Eucalyptus viminalis* para fins energéticos em função do espaçamento e idade de corte. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.16, p.55-59, 1988.
- TRUGILHO, P.F.; SILVA, J.R.M.; 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.
- TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; MORI, F.A.; LINO, A.L. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para produção de carvão vegetal. **Cerne**, Lavras, v.7, n.2, p.104-114. 2001.

TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; MENDES, L.M. Influência da idade nas características físico-química e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v.2, n.1, p.1-15, 1996.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood**: structure, properties and utilization. New York: Van Nostrand Reinold, 494p. 1991.

URBINATI, C.V.; AZEVEDO, A.A.; SILVA, E.A.M. da, LISBOA, P.L.B. Variação estrutural quantitativa no lenho de *Terminalia ivorensis* A. Chev. Combretaceae. **Acta Botânica Brasilica**, São Paulo, v.17, n.3, p.421-437, 2003.

VITAL, B.R. **Método de determinação de densidade da madeira**. Viçosa. MG. SIF. (Boletim Técnico 1), 1984.

★★★★★