

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA DE HÍBRIDOS DE EUCALIPTO IRRIGADOS E FERTIRRIGADOS

TECHNOLOGICAL CHARACTERIZATION OF IRRIGATED AND FERTIRRIGATED EUCALYPTUS HYBRID WOOD

Patrícia Kerlly Ramalho Martins Benites¹ Adriano da Silva Lopes² Adriana de Fátima Gomes Gouvêa³
Fabiana Câmara da Silva⁴ Carla Carolline Borges de Souza⁴

RESUMO

O objetivo do trabalho foi verificar o efeito da irrigação e fertirrigação nas propriedades tecnológicas das madeiras dos híbridos de *Eucalyptus urograndis* (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*) e *Eucalyptus grancam* (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis*), visando a produção de celulose e de carvão vegetal. As análises foram realizadas com delineamento experimental inteiramente casualizado, disposto em esquema fatorial com dois fatores: híbrido (*Eucalyptus urograndis* e *Eucalyptus grancam*) e irrigação (microaspersão fertirrigada, microaspersão, gotejamento fertirrigado, gotejamento e tratamento-controle). Foram realizadas as análises de densidade básica das madeiras, teores de lignina insolúvel, extrativos totais, holocelulose, cinzas e caracterização morfológica das fibras em quatro árvores por híbrido, aos 45 meses. O efeito da interação híbrido x irrigação foi significativo a 5% de probabilidade para as variáveis analisadas, com exceção da lignina insolúvel e o índice de Runkel. A irrigação e a fertirrigação não influenciaram a densidade básica da madeira e o teor de lignina insolúvel no *Eucalyptus urograndis*. O teor de extrativos totais foi reduzido com a aplicação da fertirrigação. De modo geral, não houve influência dos tratamentos silviculturais nas dimensões das fibras. Dado os resultados apresentados, conclui-se que *Eucalyptus grancam* apresenta maior sensibilidade à aplicação da irrigação e fertirrigação, que podem ser aplicados aos híbridos *Eucalyptus urograndis* e *Eucalyptus grancam* sem prejudicar suas propriedades tecnológicas.

Palavras-chave: carvão vegetal; *Eucalyptus grancam*; *Eucalyptus urograndis*; qualidade da madeira.

ABSTRACT

The aim of this study was to verify the effects of irrigation and fertirrigation on the wood technological properties of the hybrids of *Eucalyptus urograndis* (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*) and *Eucalyptus grancam* (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis*), aiming at the production of cellulose and charcoal. Analyses were carried out with a completely randomized experimental design, arranged in a factorial scheme with two factors: hybrids (*Eucalyptus urograndis* and *Eucalyptus grancam*) and irrigation (fertirrigated microaspersion, microaspersion, fertirrigated drip irrigation, drip irrigation and control treatment). Basic wood density, insoluble lignin content, total extractive content, holocellulose, ashes and morphological characterization of the fibers were analyzed in four trees per hybrid at 45 months. The effect of the interaction hybrid x irrigation was significant at 5% probability for the analyzed variables, with the exception of the insoluble lignin content and the Runkel index. Irrigation and fertirrigation did not influ-

1 Engenheira Florestal, MSc., Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Rod. Aquidauana - CERA, km 12 Zona Rural, CEP 79200-000, Aquidauana (MS), Brasil. pkerlly@hotmail.com

2 Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Rod. Aquidauana - CERA, km 12 Zona Rural, CEP 79200-000, Aquidauana (MS), Brasil. lopes@uems.br

3 Engenheira Florestal, Dr., Professora do Curso de Engenharia Florestal, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Rod. Aquidauana - CERA, km 12 Zona Rural, CEP 79200-000, Aquidauana (MS), Brasil. agouvea@uems.br

4 Discente do Curso de Engenharia Florestal, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Rod. Aquidauana - CERA, km 12 Zona Rural, CEP 79200-000, Aquidauana (MS), Brasil. fabianacamara03@gmail.com / carlasouza.eng@gmail.com

Recebido para publicação em 1/08/2016 e aceito em 25/10/2017

ence the basic wood density and the insoluble lignin content of *Eucalyptus urograndis*. The total extractive content was reduced with the application of fertirrigation. In general, there was no influence of silvicultural treatments on fiber size. Given the results presented, it has been concluded that *Eucalyptus grancam* presents greater sensitivity to the application of irrigation and fertirrigation, which can be applied to both hybrids, *Eucalyptus urograndis* and *Eucalyptus grancam*, without damaging their technological properties. **Keywords:** charcoal; *Eucalyptus grancam*; *Eucalyptus urograndis*; wood quality.

INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro possui área de floresta plantada para fins industriais, de 7,74 milhões de hectares (ha), sendo em sua maioria composta por eucalipto (71,83%) e o restante composto por espécies como pinus, acácia, teca, seringueira e paricá. Os plantios são destinados, principalmente, ao segmento de celulose e papel (34%), cultivos independentes (26,8%) e ao setor de siderurgia (carvão vegetal) (15,2%) (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2015).

O Brasil ocupa papel de destaque no cenário mundial, apresentando a maior produtividade média entre os países produtores de eucalipto ($39 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2015). Tal fato é decorrente da existência de grande área propícia à produção das espécies do gênero, das características edafoclimáticas favoráveis e da adaptação das espécies a elas, mão de obra qualificada, investimentos em pesquisas e desenvolvimento científico (GOMIDE; FANTUZZI NETO; REGAZZI, 2010; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL, 2014).

As empresas brasileiras do setor florestal têm investido cada vez mais em programas de melhoramento genético para obtenção de madeiras com melhor qualidade e maior produtividade. As árvores do gênero *Eucalyptus* vêm sendo frequentemente utilizadas nesses estudos, por possuírem madeira com ampla diversidade tecnológica, que permite sua utilização para diversos fins (BRAZ et al., 2014).

Para uma espécie ou clone ser considerado adequado para a produção de celulose ou energia, devem ser avaliados parâmetros relacionados à qualidade da madeira. O conhecimento de sua densidade básica, teores de carboidratos, lignina, extrativos e minerais, o tipo de lignina e a morfologia das fibras é essencial para que se possa determinar sua possível aplicação (SANTOS et al., 2016).

Fatores bióticos e abióticos, como a microfauna do solo, umidade relativa do ar, temperatura, pluviosidade e pH promovem alterações no ambiente e conseqüentemente nas propriedades tecnológicas da madeira. O uso de tratamentos silviculturais para o controle e/ou melhora das condições edafoclimáticas são capazes de modificar os componentes celulares das espécies, alterando assim sua qualidade, sendo os mais utilizados o espaçamento, fertilização, controle de pragas e plantas invasoras, desbastes e podas (PALERMO et al., 2003), além da irrigação e fertirrigação.

A irrigação tem como finalidade disponibilizar água às plantas para que estas possam produzir sem restrição hídrica, gerando assim incrementos na produção agrícola e florestal. Tal técnica é capaz de promover alterações nas propriedades da madeira, como a diminuição da densidade básica, aumento no comprimento das fibras e alterações na composição química (BEADLE et al., 2001).

A fertirrigação refere-se à aplicação localizada de fertilizantes junto à água de irrigação, mantendo a umidade do solo e os teores de nutrientes próximos aos valores ótimos para o crescimento e produtividade das espécies, nas diferentes fases da cultura (FERNANDES; FLORÊNCIO; FARIA, 2012). Seu uso passou a ser mais comum com a disseminação dos sistemas de irrigação localizada, como o gotejamento e a microaspersão, tanto a campo como em cultivos protegidos (SILVA; MAROUELLI, 2002), sendo capaz de promover maior crescimento em altura, diâmetro a altura do peito (DAP), área basal e volume de tronco das árvores, além de aumentar a biomassa (FERNANDES; FLORÊNCIO; FARIA, 2012).

Com isso, verifica-se que a irrigação e fertirrigação podem promover mudanças nas características da madeira do eucalipto. Sendo assim, o objetivo do trabalho foi verificar o efeito da irrigação e fertirrigação nas propriedades tecnológicas da madeira dos híbridos de *Eucalyptus urograndis* (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*) e *Eucalyptus grancam* (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis*), visando a produção energética e de polpa celulósica.

MATERIAL E MÉTODOS

Local de estudo

Foram utilizadas árvores dos híbridos *Eucalyptus urograndis* (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*) e *Eucalyptus grancam* (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis*), com 45 meses de idade, provenientes do plantio experimental localizado no município de Aquidauana, sob as coordenadas geográficas são 55°47' Oeste e 20°28' Sul, a 194 m de altitude. O clima do local é tropical quente subúmido (Aw), segundo a classificação Köppen, com precipitação média anual de 1450 mm, temperatura média de 24,5°C e o solo classificado como Argissolo Vermelho Distrófico.

O plantio foi instalado em abril de 2011 com espaçamento de 2,25m entre plantas e 4,0 m entre as linhas de plantio, em uma área total de três hectares, com quatro blocos experimentais e dez tratamentos. Toda a área recebeu adubação de plantio com 115 g por cova do formulado 04-20-20, seguindo as recomendações de Andrade (2004). Para a adubação de cobertura, tanto na fertirrigação quanto na adubação convencional, as doses seguiram as recomendações de Gonçalves et al. (2008), sendo aplicados 40 kg ha⁻¹ de N (ureia), 20 kg ha⁻¹ de K₂O (KCl) e 3,3 kg ha⁻¹ de B (ácido bórico) aos 21 meses. Aos 32 meses foi realizada a reaplicação da adubação potássica.

Durante o período de 45 meses, toda a área recebeu 5184,27 mm de água proveniente de precipitação pluviométrica. Adicionalmente, as parcelas com microaspersão receberam 1527,92 mm de água e as parcelas com gotejamento receberam 973,57 mm de água.

Amostragem e preparo das amostras

As árvores foram abatidas em janeiro de 2016, aos 45 meses, sendo amostradas quatro indivíduos por tratamento, totalizando 40 amostras. Os tratamentos correspondem aos híbridos avaliados (*Eucalyptus urograndis* e *Eucalyptus grancam*) submetidos a quatro sistemas de irrigação (microaspersão fertirrigada, microaspersão, gotejamento fertirrigado, gotejamento) e um tratamento controle (testemunha). Foi escolhido um indivíduo por parcela, com base no diâmetro a altura do peito (DAP) médio, sendo selecionado o que mais se aproximava do valor. De cada árvore, foi retirado um disco na altura do DAP, com 15 cm de espessura, que foi seccionado em cunhas para a realização das análises.

Para a determinação da densidade básica das madeiras, foram retirados dois corpos de prova por indivíduo, de cunhas opostas. Para a análise da composição química, as amostras foram transformadas em serragem, em moinho tipo Willey e peneiradas nas malhas de 40 e 60 mesh, utilizando-se o material retido na peneira de 60 mesh, conforme a norma T257 om-92 (TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY, 1996). Para cada tratamento, foi montada uma amostra composta, com quantidades iguais de serragem de cada árvore, sendo as análises realizadas em triplicata.

Para a caracterização morfológica das fibras, foram preparados macerados de amostras compostas para cada tratamento, seguindo o método de Nicholls e Dadswell (1962).

Caracterização físico-química das madeiras

A caracterização física compreendeu a determinação da densidade básica que seguiu as recomendações da ABNT NBR 11941 (2003). Na análise química, a quantificação dos extrativos foi realizada conforme especificações da ABTCP M68 (1968). O teor de lignina insolúvel (Klason) foi determinado em amostras livres de extrativos, de acordo com o procedimento descrito por Gomide e Demuner (1986) e o teor de cinzas foi determinado seguindo as recomendações da ABNT NBR 13999 (2003).

Para a caracterização morfológica das fibras, foram medidos: largura, comprimento, diâmetro do lume e espessura da parede, com 30 replicações. A partir das medidas, foram calculados: o índice de enfiamento, fração parede, coeficiente de flexibilidade e índice de Runkel (IAWA COMMITTEE, 1989).

Análises estatísticas

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, disposto em fatorial com dois fatores, híbrido (*Eucalyptus urograndis* e *Eucalyptus grandis*) e irrigação (microaspersão, microaspersão fertirrigada, gotejamento, gotejamento fertirrigado e tratamento controle), correspondendo aos dez tratamentos. Os valores obtidos em cada análise foram submetidos à análise de variância e, quando significativas, as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito da interação (híbrido x irrigação) para as variáveis avaliadas, com exceção da lignina insolúvel. Híbrido e irrigação, individualmente, não tiveram efeito somente na densidade básica e teor de cinzas e lignina insolúvel, respectivamente (Tabela 1).

TABELA 1: Resumo da análise da variância da densidade básica da madeira (DBM) e dos teores de holocelulose (HOLO), lignina insolúvel (LIG), extrativos totais (EXT) e cinzas (TCZ), por híbrido e por irrigação, aos 45 meses.

TABLE 1: Summary of the analysis of variance of the basic wood density (DBM) and of the holocellulose (HOLO), insoluble lignin (LIG), total extractives (EXT) and ashes (TCZ) by hybrid and by irrigation, at 45 months.

FV	GL	Quadrado médio		Quadrado médio			
		DBM	GL	HOLO	LIG	EXT	TCZ
H	1	0,021996*	1	2,164820*	4,446245*	0,748845*	0,053045*
I	4	0,001315 ^{ns}	4	1,430845*	1,141138*	1,746588*	0,015970 ^{ns}
H x I	4	0,002773*	4	1,792745*	0,335433 ^{ns}	0,891933*	0,047745*
Resíduo	30	0,000695	10	0,226930	0,139785	0,081545	0,006875
Total	39		19				
Média		0,38031		71,6600	24,8025	2,6775	0,8535
CV (%)		6,93		0,66	1,51	10,67	9,71

Em que: FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; H = híbrido; I = irrigação; * e ^{ns} = significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Para as dimensões das fibras, só houve efeito da interação (híbrido x irrigação) para o comprimento (Tabela 2). Híbrido e irrigação não apresentaram efeito na largura e diâmetro para o primeiro e diâmetro para o último.

TABELA 2: Resumo da análise da variância para largura (LARG), comprimento (COMP), espessura de parede (ESP) e diâmetro do lume (DIAM) das fibras, por híbrido e por irrigação, aos 45 meses.

TABLE 2: Summary of the analysis of variance for the width (LARG), length (COMP), cell wall thickness (ESP) and lumen diameter (DIAM) from fibers, by hybrid and by irrigation, at 45 months.

FV	GL	Quadrado médio			
		LARG	COMP	ESP	DIAM
H	1	6,998670 ^{ns}	12566,533333*	1,605453*	0,010830 ^{ns}
I	4	5,272353*	4808,366667*	0,552962*	0,877953 ^{ns}
H x I	4	0,450203 ^{ns}	8178,366667*	0,434395 ^{ns}	1,538197 ^{ns}
Resíduo	20	1,686737	1450,466667	0,160723	0,625623
Total	29				
Média		20,673000	850,800000	5,878667	8,913667
CV (%)		6,28	4,48	6,82	8,87

Em que: FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; H = híbrido; I = irrigação; * e ^{ns} = significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Houve efeito da interação (híbrido x irrigação) sobre os índices de qualidade das fibras, com exceção do índice de Runkel (Tabela 3). O híbrido exerceu efeito somente no coeficiente de flexibilidade e na fração parede e a irrigação, somente no índice de enfeltramento.

TABELA 3: Resumo da análise da variância do índice de enfeltramento (IE), coeficiente de flexibilidade (CF), fração parede (FP) e índice de Runkel (IR), por híbrido e por irrigação, aos 45 meses.

TABLE 3: Summary of the analysis of felting index (IE), flexibility coefficient (CF), cell wall fraction (FP) and Runkel index (IR), by hybrid and by irrigation, at 45 months.

FV	GL	Quadrado médio			
		IE	CF	FP	IR
H	1	0,028830 ^{ns}	23,941333*	23,941333*	0,045630 ^{ns}
I	4	47,066105*	6,7776828 ^{ns}	6,776828 ^{ns}	0,034170 ^{ns}
H x I	4	30,866688*	29,384192*	29,384192*	0,086447 ^{ns}
Resíduo	20	9,926473	5,468093	5,468093	0,019250
Total	29				
Média		42,291000	43,098000	56,902000	1,400333
CV (%)		7,45	5,43	4,11	9,91

Em que: FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; H = híbrido; I = irrigação; * e ^{ns} = significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Densidade básica da madeira

Na densidade básica da madeira (Tabela 4), de modo geral, os valores para o *Eucalyptus grancam* foram maiores que o observado para o *Eucalyptus urograndis*. A aplicação da irrigação e fertirrigação não apresentou efeito na densidade básica da madeira de *Eucalyptus urograndis*, mostrando que esse híbrido é mais estável a diferentes condições de disponibilidade de água.

TABELA 4: Valores médios da densidade básica da madeira e (DBM) e dos teores de holocelulose (HOLO), lignina insolúvel (LIG), extrativos totais (EXT) e cinzas (TCZ), por híbrido e por irrigação, aos 45 meses.

TABLE 4: Mean values of the basic wood density (DBM) and of the holocellulose (HOLO), insoluble lignin (LIG), total extractives (EXT) and ashes (TCZ) by hybrid and by irrigation, at 45 months.

Híbrido	Irrigação	DBM	HOLO	LIG	EXT	TCZ
		(g cm ⁻³)	%			
<i>Urograndis</i>	Micro. Fert.	0,350 a	72,67 a	24,92 a	1,75 b	0,66 b
	Microaspersão	0,342 a	71,09 b	24,61 a	3,58 a	0,74 ab
	Gotej. Fert.	0,357 a	72,94 a	23,95 a	2,16 b	0,96 a
	Gotejamento	0,384 a	71,62 ab	24,35 a	3,20 a	0,85 ab
	Trat. Controle	0,351 a	71,67 ab	23,84 a	3,68 a	0,82 ab
<i>Grancam</i>	Micro. Fert.	0,396 b	69,72 b	26,32 a	3,02 a	0,95 ab
	Microaspersão	0,402 ab	71,40 a	24,89 b	2,61 a	1,11 a
	Gotej. Fert.	0,386 b	72,36 a	25,62 ab	1,17 b	0,85 ab
	Gotejamento	0,384 b	71,29 a	25,14 ab	2,70 a	0,89 ab
	Trat. Controle	0,451 a	71,93 a	24,41 b	2,93 a	0,74 b

Em que: Micro = microaspersão; Fert. = fertirrigado (a); Gotej. = Gotejamento; Trat. = tratamento. Médias seguidas de mesma letra, dentro de híbrido, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para o *Eucalyptus granacam*, os valores da densidade básica da madeira foram reduzidos em função da aplicação da irrigação e fertirrigação. A mesma tendência de redução da densidade básica da madeira foi observada por Barbosa et al. (2014) estudando *Eucalyptus urograndis* aos 6 anos e pode ser resultante da ativação do hormônio de crescimento auxina, em condições de alta umidade do solo, estimulando a formação de células de maior diâmetro (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Os valores encontrados para densidade básica da madeira foram inferiores ao encontrado por Trugilho et al. (2015) para *Eucalyptus urograndis*, aos quatro anos (0,491 g cm⁻³), em mesma condição climática (Aw). Essa diferença dos valores pode ser decorrente da aplicação da irrigação e fertirrigação e da ativação da auxina. A densidade básica da madeira de *Eucalyptus granacam* também foi menor que a encontrada por Loulidi et al. (2012) para a mesma espécie em diferentes idades (0,470 g cm⁻³), sob clima semiárido. Em ambientes com altas temperaturas, como no semiárido, a densidade básica da madeira desse gênero apresenta tendência de aumento, decorrente da redução do lume e aumento da espessura de parede das fibras (THOMAS; MONTAGU; CONROY, 2007).

Apenas o tratamento-controle e a microaspersão no *Eucalyptus granacam* apresentaram densidade básica da madeira na faixa utilizada pelas indústrias de celulose (0,400 a 0,550g cm⁻³). Madeira leves geram maiores custos à indústria, pela necessidade de maior volume de material para atingir a máxima capacidade do digestor. No entanto, possuem fibras com paredes mais finas, o que facilita a impregnação dos reagentes durante a produção da polpa, o entrelaçamento das fibras durante o processo de formação do papel, aumentando sua resistência à tração, além de proporcionar maior rendimento em polpa depurada.

Para fins de energia, são desejáveis valores elevados de densidade básica da madeira (acima de 0,520 g cm⁻³) (TRUGILHO et al., 2001), porém, nenhum tratamento atendeu a esse critério. Durante a carbonização, a densidade básica é reduzida em 60% (SANTOS et al., 2011) e o uso de madeiras leves produzem carvão friável, com alta quantidade de finos, reduzindo assim a qualidade do ferro-gusa.

A densidade básica da madeira apresenta tendência de aumento com a idade, conforme observado por Trugilho, Lima e Mendes (1996), indicando que os valores podem atender a esse critério quando atingirem idade comercial (6-7 anos) tanto para a produção de celulose quanto para a produção de carvão vegetal.

Características químicas

Para as madeiras dos híbridos estudados, o uso de irrigação não apresentou efeito nos teores de holocelulose, com exceção da microaspersão fertirrigada no *Eucalyptus grancam*. O aumento da holocelulose em função da fertirrigação pode ser explicado pela maior disponibilidade do boro quando aplicado junto à água de irrigação. Tal mineral atua na biossíntese de carboidratos durante a fotossíntese que por sua vez, darão origem à celulose e hemicelulose durante o processo de respiração (TAIZ; ZEIGHER, 2009). Variações de 1% no teor de holocelulose são importantes para as indústrias de polpas celulósicas, a holocelulose compreende a soma dos teores de celulose e hemicelulose da madeira, altos valores são desejáveis para a indústria de celulose e papel, por ser a matéria-prima para a obtenção do produto final.

Os valores de holocelulose encontrados são maiores que o obtido por Trugilho et al. (2015) ao avaliarem madeira de *Eucalyptus urograndis* aos 48 meses provenientes de plantios localizados ao norte de Minas Gerais (61,59%) e também são maiores que os valores encontrados por Rocha et al. (2012), ao avaliarem a madeira de *Eucalyptus grancam* aos 85 meses (64%). Os maiores valores encontrados nesse estudo podem ser explicados em função do aumento da taxa de respiração da planta com a elevação da temperatura, produzindo assim maior quantidade de holocelulose pela carboxilação do amido proveniente da fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Para fins energéticos, a holocelulose possui correlação negativa com o rendimento gravimétrico em carvão vegetal, isto é, a presença de altos teores do composto, reduz o rendimento em carvão (VITAL; JESUS; VALENTE, 1994). A celulose se degrada rapidamente em uma pequena faixa de temperatura acima de 300 °C, tendo sua massa reduzida à metade em apenas 5 minutos, por possuir estrutura menos complexa (BRITO; BARRICHELO, 1977; NEVES et al., 2011). A degradação térmica da hemicelulose ocorre em temperaturas entre 200 e 300 °C, em função de sua estrutura ramificada e amorfa e sua degradação resulta na formação da maior parte do licor pirolenhoso (OLIVEIRA; VIVACQUA FILHO; GOMES, 1982).

A irrigação não apresentou efeito sobre o teor de lignina insolúvel do *Eucalyptus urograndis*, corroborando o estudo de Barbosa et al. (2014) para o mesmo híbrido aos 6 anos. Os valores foram menores do que os encontrados por Braz et al. (2014) ao estudar híbridos de *Eucalyptus urograndis* aos 30 e 35 meses (31,33%), cultivados sob clima tropical quente subúmido (Aw). Isso pode ser explicado pela existência da tendência de redução dos teores de lignina insolúvel em função da idade, conforme o descrito por Trugilho, Lima e Mendes (1996) ao estudarem a madeira de *Eucalyptus saligna*.

Na madeira do *Eucalyptus grancam*, a irrigação não alterou os teores de lignina insolúvel, com exceção da microaspersão fertirrigada. Os valores estão abaixo do encontrado por Santos et al. (2011) para o híbrido, aos 7 anos (34%), cultivados em clima semiárido. Assim como na holocelulose, pode ter havido aumento na síntese de lignina pelo aumento na taxa respiratória, em resposta à alta temperatura (TAIZ; ZEIGER, 2009)

Os teores de lignina encontrados são favoráveis ao setor de celulose e papel, por serem semelhantes aos valores obtidos em clones utilizados pela indústria, em idade comercial (6-7 anos) e por apresentarem tendência de redução com a idade (TRUGILHO; LIMA; MENDES, 1996). A ocorrência de altos teores de lignina aumenta o consumo de álcali para sua extração durante a produção da polpa celulósica.

Quando se trata do segmento de energia, os valores encontrados de lignina insolúvel são considerados intermediários (25,30 a 26,60%), de acordo com Trugilho et al. (2001). Nesse setor, são exigidos altos valores do composto, por este apresentar correlações positivas com o poder calorífico superior, rendimento gravimétrico em carvão e teor de carbono fixo (BRITO; BARRICHELO, 1977; VITAL; JESUS; VALENTE, 1994; SANTOS et al., 2011).

Devido a sua estrutura tridimensional e complexa, a lignina começa a se degradar em altas temperaturas, não sendo totalmente degradada ao fim da carbonização. Por essa razão, contribui para o rendimento gravimétrico do carvão vegetal (VITAL; JESUS; VALENTE, 1994). O composto também possui alta percentagem de carbono elementar em sua estrutura, contribuindo assim para os teores de carbono fixo do carvão vegetal (BRITO; BARRICHELO, 1977).

De modo geral, não houve influência significativa da irrigação e fertirrigação sobre o teor de extrativos totais, com exceção da microaspersão fertirrigada e gotejamento fertirrigado na madeira de *Eucalyptus urograndis* e do gotejamento fertirrigado na madeira de *Eucalyptus grancam*. Nesses tratamentos, foram

observadas reduções de 1,70 a 2,50% nos teores de extrativos totais, fato de grande importância para a produção de celulose, já que a presença de altos teores de extrativos totais são prejudiciais ao processo. Durante seu processo de produção, os extrativos podem se aglomerar e formar depósitos chamados “pitch”, essas incrustações reduzem a vida útil dos equipamentos, aumentam o consumo de álcali, e diminuem a qualidade do produto final, pela redução da absorvência da polpa (SILVESTRE, 1999; COLODETTE; GOMES, 2015).

Valores semelhantes de extrativos foram encontrados por Santana et al. (2012) para a madeira de *Eucalyptus urograndis* aos 48 meses (3,27%), cultivado em clima subtropical. Para o *Eucalyptus grancam*, os valores foram semelhantes aos obtidos por Rocha et al. (2012), aos 85 meses (2,1%), cultivado em clima tropical quente subúmido, evidenciando assim a maior influência das condições edafoclimáticas na quantidade de extrativos encontrados nas madeiras estudadas.

Para fins energéticos, o teor de extrativos totais está abaixo do considerado adequado para o setor, em torno de 4,5 a 6,5% (TRUGILHO et al., 2001). Os extrativos totais possuem alto poder calorífico e possuem correlação positiva com o rendimento gravimétrico em carvão (SANTOS et al., 2011).

De modo geral, o uso da irrigação não influenciou o teor de cinzas nos dois híbridos e os valores encontrados foram superiores aos obtidos por Santana et al. (2012) para a madeira de *Eucalyptus urograndis* aos 48 meses e por Trugilho et al. (2001) para *Eucalyptus grandis*, aos 7 anos, 0,42 e 0,16%, respectivamente. O aumento no teor de cinzas pode ter ocorrido em resposta as três doses de adubações aplicadas ao plantio, pois o potássio (K) contribui para a formação de minerais não processuais (FOELKEL, 2011).

Para o setor energético, valores de cinzas abaixo de 1% são considerados ideais (SANTOS et al., 2011), e somente a microaspersão na madeira do *Eucalyptus grancam* apresentou valor acima desse limite. A presença de altos teores de cinzas reduz o poder calorífico do carvão, diminuindo assim a qualidade do ferro-gusa, pela formação de fissuras. No setor de celulose, a faixa de amplitude aceita pelas indústrias varia de 0,2 – 1,1% (FOELKEL, 2011) e somente o híbrido *Eucalyptus grancam* não atendeu a esse critério. Valores elevados de cinzas e conseqüentemente de minerais não processuais, contribuem para a formação de quelantes. Os quelantes reduzem a alvura da polpa, aumentando o custo do processo para atingir um produto final de qualidade.

Caracterização morfológica das fibras

Dimensões das fibras

De modo geral, a aplicação da irrigação e fertirrigação não alterou os valores das dimensões das fibras na madeira de *Eucalyptus urograndis* (Tabela 5), corroborando os resultados obtidos por Tomazello Filho (2006) estudando o efeito da irrigação e fertirrigação nas fibras do mesmo híbrido.

TABELA 5: Valores médios de largura (LARG), comprimento (COMP), espessura de parede (ESP) e diâmetro do lume (DIAM) das fibras, por híbrido e por irrigação, aos 45 meses.

TABLE 5: Mean values of width (LARG), length (COMP), cell wall thickness (ESP) and lumen diameter (DIAM) of the fibers by hybrid by irrigation at 45 months.

Híbrido	Irrigação	LARG	COMP	ESP	DIAM
		μm			
<i>Urograndis</i>	Micro. Fert.	21,36 a	856,66 a	6,42 a	8,52 a
	Microaspersão	21,56 a	878,33 a	6,49 a	8,58 a
	Gotej. Fert.	22,22 a	913,67 a	6,11 a	10,00 a
	Gotejamento	20,72 a	832,00 a	5,78 a	9,16 a
	Trat. Controle	19,93 a	875,67 a	5,76 a	8,40 a
<i>Grancam</i>	Micro. Fert.	21,21 a	769,67 b	5,78 ab	9,65 a
	Microaspersão	19,89 a	893,33 a	5,29 b	9,31 a
	Gotej. Fert.	21,34 a	766,33 b	6,39 a	8,55 a
	Gotejamento	19,72 a	856,33 ab	5,44 ab	8,83 a
	Trat. Controle	18,80 a	866,00 a	5,33 b	8,13 a

Em que: Micro = microaspersão; Fert. = fertirrigado (a); Gotej. = Gotejamento; Trat. = tratamento. Médias seguidas de mesma letra, dentro de híbrido, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Não houve efeito da irrigação e fertirrigação sobre a largura das fibras da madeira de *Eucalyptus grancam* e de *Eucalyptus urograndis*. Tal resultado difere do observado por Jianju, Wenbin e Xiuzhen (2005) estudando *Eucalyptus urophylla* aos 9 anos, no qual os autores encontraram aumento na largura das fibras com a irrigação. De modo geral, fibras mais largas são menos flexíveis, podendo indicar problemas durante o colapso (achatamento) das fibras na formação do papel, reduzindo a resistência do papel à tração.

Os valores obtidos de largura das fibras são maiores que os encontrados por Braz et al. (2014), estudando a madeira de *Eucalyptus urograndis* aos 30 e 35 meses (18,62μm) na mesma condição climática desse estudo. Essa diferença pode ser resultante do aumento das dimensões das fibras em função da idade, como o observado por Trugilho, Lima e Mendes (1996) estudando as fibras do *Eucalyptus saligna*.

Os valores de largura encontrados para as fibras da madeira de *Eucalyptus grancam* são maiores que o obtido por Santos et al. (2011) para o híbrido aos 7 anos (16,82μm) estudando o híbrido cultivado em condições de clima semiárido (BSh). Tal fato pode ser decorrente da aplicação das três doses de adubação em conjunto com a maior disponibilidade de água para o desenvolvimento da cultura, propiciando maior incremento na largura das fibras.

A aplicação da microaspersão fertirrigada e do gotejamento fertirrigado no *Eucalyptus grancam* reduziram o comprimento das fibras. Os resultados diferem do encontrado por Beadle et al. (2001), que observaram aumento no comprimento das fibras de *Eucalyptus nitens* com a aplicação da irrigação. Os valores encontrados foram menores que o obtido por Evangelista et al. (2010), avaliando *Eucalyptus camaldulensis* aos 10 anos (970μm), o que pode ser explicado pela diferença entre as idades das espécies estudadas, já que o comprimento das fibras apresenta tendência de aumento com a idade (TRUGILHO; LIMA; MENDES, 1996).

Os valores de comprimento das fibras obtidos para a madeira de *Eucalyptus urograndis* foram semelhantes ao encontrado por González et al. (2014) para o híbrido aos 8 anos (900μm). Os valores próximos mesmo em idades diferentes, podem ter ocorrido em resposta às adubações feitas em toda área, mesmo que aplicadas de forma diferente. Fibras longas, apresentam maior facilidade de entrelaçamento durante a formação do papel, aumentando assim a resistência do papel ao rasgo e à tração.

O *Eucalyptus grancam* apresentou aumento na espessura de parede no tratamento com gotejamento fertirrigado e os valores foram 1,3 vezes maiores que o valor encontrado por Santos et al. (2011) para *Eucalyptus grancam* aos 7 anos em condição de clima semiárido. O alto volume pluviométrico aliado às altas

temperaturas podem estar associados ao aumento da espessura de parede da parede das fibras, conforme o observado por Thomas, Montagu e Conroy (2007) estudando *Eucalyptus grandis*.

As fibras da madeira de *Eucalyptus urograndis* apresentaram valor de espessura de parede cerca de 1,5 vezes maior que o encontrado por Gouvêa et al. (2009), avaliando madeiras de *Eucalyptus urograndis* aos 3 anos provenientes de região de clima subtropical úmido. A diferença dos valores de espessura de parede pode ser decorrente da interação entre o clima, irrigação e idade, pois a espessura de parede apresenta tendência de aumento com a idade da árvore (TRUGILHO; LIMA; MENDES, 1996). Altos valores de espessura de parede, dificultam a impregnação dos reagentes durante a produção da polpa e, também são um indicativo de fibras rígidas que diminuem a resistência do papel ao rasgo e tração.

A aplicação da irrigação e fertirrigação não alterou o diâmetro do lume para as fibras da madeira de *Eucalyptus grandis*, assim como para as do *Eucalyptus urograndis*. Os valores são semelhantes aos encontrados por Gouvêa et al. (2009) para o *Eucalyptus urograndis* aos 3 anos (8,94µm), provenientes de região com clima subtropical úmido e também são semelhantes ao encontrado por Santos et al. (2011) para o *Eucalyptus grandis* aos 7 anos (8,64µm) cultivado em local de clima semiárido.

No primeiro caso, os valores semelhantes podem ser decorrentes da formação de fibras de menor diâmetro em condições de altas temperaturas, sendo maior a influência do clima, em relação à idade (TRUGILHO; LIMA; MENDES, 1996; THOMAS; MONTAGU; CONROY, 2007). No segundo, os valores próximos, mesmo em idades diferentes, podem ser consequência da formação de fibras com maior diâmetro do lume em resposta as condições de maior umidade, característica do clima e pela aplicação da irrigação, e às temperaturas elevadas (TAIZ; ZEIGER; 2009; THOMAS; MONTAGU; CONROY, 2007).

Índices de qualidade das fibras

Os valores de índices das fibras (Tabela 6) também não foram afetados pela irrigação e fertirrigação no *Eucalyptus urograndis*, como consequência da não influência nas dimensões das fibras.

TABELA 6: Valores médios do índice de enfiamento (IE), coeficiente de flexibilidade (CF), fração parede (FP) e índice de Runkel (IR), por híbrido e por irrigação, aos 45 meses.

TABLE 6: Mean values of felting index (IE), flexibility coefficient (CF), cell wall fraction (FP) and Runkel index (IR), by hybrid and by irrigation at 45 months.

Híbrido	Irrigação	IE	CF	FP	IR
			%	%	
<i>Urograndis</i>	Micro. Fert.	41,23 a	39,92 a	60,08 a	1,58 a
	Microaspersão	42,12 a	40,01 a	59,99 a	1,57 a
	Gotej. Fert.	42,62 a	44,39 a	55,61 a	1,32 a
	Gotejamento	41,06 a	44,54 a	55,46 a	1,30 a
	Trat. Controle	44,57 a	42,16 a	57,84 a	1,42 a
<i>Grancam</i>	Micro. Fert.	37,28 bc	45,03 ab	54,97 ab	1,36 ab
	Microaspersão	45,60 a	46,83 a	53,17 b	1,20 b
	Gotej. Fert.	36,68 c	39,86 b	60,14 a	1,59 a
	Gotejamento	44,69 ab	45,06 ab	54,94 ab	1,26 ab
	Trat. Controle	47,05 a	43,17 ab	56,83 ab	1,39 ab

Em que: Micro = microaspersão; Fert. = fertirrigado (a); Gotej. = Gotejamento; Trat. = tratamento. Médias seguidas de mesma letra, dentro de híbrido, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A aplicação da irrigação reduziu os valores do índice de enfiamento no gotejamento fertirrigado e microaspersão fertirrigada no *Eucalyptus grandis*, em resposta ao aumento na largura das fibras para estes tratamentos. O índice de enfiamento refere-se à resistência do papel ao rasgo e às dobras duplas, sendo indicado altos. Somente o tratamento controle do *Eucalyptus grandis* atendeu a esse critério, por

possuir o menor valor de largura entre os tratamentos.

Para o coeficiente de flexibilidade, não houve influência da irrigação e fertirrigação no *Eucalyptus urograndis* e no *Eucalyptus grancam*, houve uma tendência de redução nos valores do coeficiente. Os valores encontrados em todos os tratamentos podem ser considerados baixos, indicando a presença de fibras rígidas, também como consequência dos altos valores de largura. Quanto maior os valores, mais flexíveis serão as fibras, facilitando o colapso das fibras e o entrelaçamento das mesmas, na formação do papel.

De modo geral, a fração parede também não foi influenciada pelas aplicações de irrigação e fertirrigação nos dois híbridos. Para o setor de celulose e papel, valores ideais de FP devem ser baixos, indicando fibras não rígidas e nenhum tratamento atendeu a esse requisito. Os altos valores de fração parede são consequência dos altos valores de espessura de parede e prejudicam a impregnação dos reagentes e interligação das fibras durante a formação do papel. De modo contrário, o setor energético considera como ideais altos valores de fração parede, por este índice estar relacionado à maior presença de componentes que possam gerar energia.

A irrigação e fertirrigação não apresentaram efeito sobre o índice de Runkel no híbrido *Eucalyptus urograndis* e no *Eucalyptus grancam*. Este índice relaciona-se à flexibilidade das fibras, sua capacidade de interligação e, como consequência, a resistência do papel à tração e ao arrebentamento. Todos tratamentos apresentaram fibras consideradas regulares para a produção do papel, com índice de Runkel entre 1,0 e 2,0, tal índice foi influenciado principalmente pelos altos valores da largura.

CONCLUSÕES

A madeira de *Eucalyptus grancam* é mais sensível à aplicação da irrigação e fertirrigação.

A densidade básica da madeira de *Eucalyptus urograndis* não é influenciada pela irrigação e fertirrigação.

Observa-se aumento no teor de holocelulose e redução no teor de extrativos com a fertirrigação para as madeiras estudadas.

A irrigação e fertirrigação não influenciam nas dimensões das fibras para as madeiras estudadas.

As propriedades tecnológicas modificam-se com a idade da árvore, sendo necessárias avaliações próximas à idade comercial.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão de bolsa.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: Determinação da densidade básica em madeira. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13999**: papel, cartão, pastas celulósicas e madeira: determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525°C. Rio de Janeiro, 2003. 4 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL. **ABTCP - M68**. São Paulo, 1968. 10 p.
- ANDRADE, L. R. M. Corretivos e fertilizantes para culturas perenes e semiperenes. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado, correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 2004. p. 317-366.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. **Dados do setor**. [s. l.]: BRACELPA, 2014. Disponível em: <<http://bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/estatisticas/booklet.pdf>> Acesso em: 20 abr. 2016.
- BARBOSA, B. M. et al. Efeito da fertilização na qualidade da madeira de *Eucalyptus* spp. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 29-39, mar. 2014.
- BEADLE, C. et al. Effect of irrigation on growth and fiber quality of *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus nitens*. **Appita Journal**, Carlton, v. 54, n. 2, p. 144-147, 2001.

- BRAZ, R. L. et al. Caracterização anatômica, física e química da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em áreas sujeitas à ação de ventos. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 5, n. 2, p. 127-137, 2014.
- BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Correlação entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: 1 - densidade e o teor de lignina da madeira de eucalipto. **IPEF**, Piracicaba, n. 14, p. 9-20, 1977.
- COLODETTE, J. L.; GOMES, F. J. B. **Branqueamento de polpa celulósica**: da produção da polpa marrom ao produto acabado. 1. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2015. 816 p.
- EVANGELISTA, W. V. et al. Caracterização anatômica quantitativa da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 273-284, jun. 2010.
- FERNANDES, A. L. T.; FLORENCIO, T. M.; FARIA, M. F. Análise biométrica de florestas irrigadas de eucalipto nos cinco anos iniciais de desenvolvimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 5, p. 505-513, 2012.
- FOELKEL, C. **Os eucaliptos e os elementos não processuais na fabricação de celulose Kraft**. 122 p. 2011. Disponível em: <http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT24_ElementosN_proces.pdf> Acesso em: 30 abr. 2016.
- 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.
- GOMIDE, J. L.; FANTUZZI NETO, H.; REGAZZI, A. J. Análise de critérios de qualidade da madeira de eucalipto para a produção de celulose Kraft. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 34, n. 2, p. 339-344, mar./abr. 2010.
- GONÇALEZ, J. C. et al. Wood fiber size and density relationship along the stem of *Eucalyptus urograndis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 81-89, mar. 2014.
- GONÇALVES, J. L. M. et al. Assessing the effects of early silvicultural management on long-term site productivity of fast-growing eucalypt plantations: the Brazilian experience. **Southern Forests**, Grahamstown, v. 70, n. 2, p. 105-118, ago. 2008.
- GOUVÊA, A. F. G. et al. Avaliação da madeira e da polpação Kraft em clones de eucaliptos. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 33, n. 6, p. 1175-1185, 2009.
- IAWA COMMITTEE. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 10, n. 3, p. 221-332, 1989.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Indicadores de desempenho do setor nacional de árvores plantadas – 2014**. Brasília: IBÁ, 2015. 80 p.
- JIANJU, L.; WENBIN, F.; XIUZHEN, D. Fertilization effect on fiber dimensions of *Eucalyptus urophylla*. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TREE ANATOMY AND WOOD FORMATION, 1995, Kyoto. **Proceedings...** Kyoto: IUFRO, 1995. p. 189-196.
- LOULIDI, I. et al. The physical and mechanical properties of *Eucalyptus* hybrid *E. camaldulensis* x *E. grandis*: comparison with parental species. **Research Inventy: International Journal of Engineering and Science**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 1-7, aug. 2012.
- NEVES, T. A. et al. 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, out./dez. 2011.
- NICHOLLS, J. W. P.; DADSWELL, H. E. **Tracheid length in *Pinus radiata* D. Don**. Melbourne: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, 1962. (Division of Forest Products technological paper, n. 24).
- 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.
- PALERMO, G. P. M. et al. Análise da densidade da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. por meio de radiação gama de acordo com as direções estruturais (longitudinal e radial) e a idade de crescimento. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 10, n. 2, p. 47-57, ago./dez. 2003.
- ROCHA, M. F. V. et al. Efeito da Idade e do Espaçamento nas propriedades da madeira para Energia. **Biomassa & Energia**, Viçosa, MG, v. 5, p. 27, 2012.
- SANTANA, W. M. S. et al. Effect of age and diameter class on the properties of wood from clonal *Euca-*

- lyptus*. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 1, p. 1-8, jan./mar. 2012.
- SANTOS, P. V. et al. Qualidade tecnológica da madeira de *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson submetida ao processo de termorreificação. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 110, jun. 2016.
- SANTOS, R. C. et al. Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 221-230, jun. 2011.
- SILVA, W. L. C.; MAROUELLI, W. A. Fertirrigação de hortaliças. **ITEM: Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, n. 52/53, p. 45-47, 2002.
- SILVESTRE, A. J. D. et al. Chemical composition of pitch deposits from an ECF *Eucalyptus globulus* bleached Kraft pulp mill: its relationship with wood extractives and additives in process streams. **Appita Journal**, Carlton, v. 52, n. 5, p. 375-381, 1999.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848 p.
- TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **Test methods T257 om-92**: sampling and preparing wood for analysis. Atlanta: TAPPI, 1996. v. 1.
- THOMAS, D. S.; MONTAGU, K. D.; CONROY, J. P. Temperature effects on wood anatomy, wood density, photosynthesis and biomass partitioning of *Eucalyptus grandis* seedlings. **Tree Physiology**, Victoria, v. 27, p. 251-260, feb. 2007.
- TOMAZELLO FILHO, M. **Efeito da irrigação e fertilização nas propriedades do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* x *urophylla***. 2006. 146 f. Tese (Concurso de Livre Docência junto ao Departamento de Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- TRUGILHO, P. F. et al. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para produção de carvão vegetal. **Cerne**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 104-114, 2001.
- TRUGILHO, P. F. et al. Características de crescimento, composição química, física e estimativa de massa seca de madeira em clones e espécies de *Eucalyptus* jovens. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 4, p. 661-666, abr. 2015.
- TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 94-111, jul. 1996.
- VITAL, B. R.; JESUS, R. M.; VALENTE, O. F. Características de crescimento de árvores e de qualidade da madeira de *Eucalyptus camaldulensis* para a produção de carvão. **IPEF**, Piracicaba, n. 47, p. 22-28, maio 1994.