



ARTIGO ORIGINAL

Thaís Pereira Freitas<sup>1\*</sup>  
José Tarcísio da Silva Oliveira<sup>2</sup>  
João Gabriel Missia da Silva<sup>2</sup>  
Matheus Perdigão de Castro Freitas  
Pereira<sup>1</sup>  
Juliana Ceccato Ferreira<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Viçosa – UFV, Campus  
Universitário, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n,  
Centro, 36570-000, Viçosa, MG, Brasil

<sup>2</sup> Universidade Federal do Espírito Santo – UFES,  
Centro de Ciências Agrárias, Departamento  
de Ciências Florestais e da Madeira, Av. Carlos  
Lindemberg, s/n, NEDTEC - Centro, 29550-000,  
Jerônimo Monteiro, ES, Brasil

<sup>3</sup> Universidade Federal de Goiás – UFG, Regional  
Jataí, Rodovia BR-364, Setor Francisco Antônio,  
75801-615, Jataí, GO, Brasil

\*Autor Correspondente:  
E-mail: [thais\\_pfreitas@yahoo.com.br](mailto:thais_pfreitas@yahoo.com.br)

**PALAVRAS-CHAVE**

Qualidade da madeira  
Espécie alternativa  
Potencial para polpação Kraft

**KEYWORDS**

Wood quality  
Alternative species  
Potential for Kraft pulping

## Potencial de uso da madeira de *Liquidambar* sp. para produção de polpa celulósica e papel

*Potential use of Liquidambar sp. wood for pulp and  
paper production*

**RESUMO:** Apesar do mercado brasileiro de celulose de fibra curta estar restrito ao gênero *Eucalyptus*, novas espécies podem ser utilizadas para esse fim, desde que apresentem propriedades tecnológicas satisfatórias. O objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades tecnológicas da madeira de *Liquidambar* sp. e delinear o seu potencial como fonte de fibra alternativa para a produção de polpa celulósica e papel. Foram utilizadas três árvores dessa espécie, com oito anos de idade, de um plantio localizado no município de Guaçuí, Espírito Santo, com espaçamento de 3 × 3 m. Determinou-se a densidade básica, a morfologia das fibras (comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura da parede) e vasos (frequência e diâmetro tangencial), os índices de qualidade das fibras e a composição química (extrativos, lignina solúvel, insolúvel e total e holocelulose) da madeira. A densidade básica média foi igual a 0,49 g cm<sup>-3</sup>, que está dentro da faixa considerada “ótima” à produção de polpa celulósica. Com relação as características anatômicas, destacou-se a presença de fibras classificadas como longas, sendo esta uma vantagem no uso da madeira para produção de celulose, por favorecer a resistência ao rasgo e a dobras do papel. Com exceção do teor de extrativos, que apresentou valores superiores, a composição química foi semelhante àquela encontrada para a madeira de algumas espécies de eucalipto. Estudos deverão ser realizados para avaliar o desempenho da espécie na polpação Kraft, no branqueamento e quanto as propriedades da polpa celulósica e papel.

**ABSTRACT:** Although the Brazilian market for short fiber pulp is restricted to the genus *Eucalyptus*, new species can be used for this purpose, if they have satisfactory technological properties. The aim of this study was to evaluate the technological properties of *Liquidambar* sp. wood and to outline its potential as an alternative source of fiber for the pulp and paper production. Three trees of *Liquidambar* sp. were used with eight years old, from a plantation located in the Guaçuí city, state of Espírito Santo, Brazil, planting spacing 3 × 3 m. It was determined the basic density, fiber (length, width, lumen diameter and wall thickness) and vessels morphology (frequency and tangential diameter), fibers quality indices and chemical composition (extractives, soluble lignin, insoluble and total and holocelulose) of wood. The basic density average was equal to 0.49 g cm<sup>-3</sup>, which is within the range considered “optimum” for the production of cellulosic pulp. Regarding the anatomical features, highlighted the presence of fibers classified as long, which is an advantage in the use of wood for pulp production because they favor the tear and fold resistance of the paper. Except the extractives content, which showed higher values, the chemical composition was similar to that found for the wood of some species of eucalyptus. Studies should be conducted to assess the kind of performance Kraft pulping, bleaching and the properties of resistance of the cellulosic pulp.

## 1 Introdução

A qualidade da madeira pode ser definida segundo uma série de atributos que a tornam apropriada para determinadas aplicações, dependendo das características e propriedades desejadas aos produtos finais e das necessidades e exigências dos consumidores (Lemos et al., 2012). A fim de se produzir polpa celulósica homogênea, com alta qualidade, boa relação custo/benefício e o mínimo impacto ambiental, um dos maiores desafios da indústria é a seleção adequada da madeira para o seu suprimento (Gouvea et al., 2012).

Apesar do mercado brasileiro de celulose de fibra curta estar restrito ao gênero *Eucalyptus*, em evidência o híbrido *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla*, qualquer matéria-prima vegetal pode ser utilizada para esse fim, desde que apresente propriedades tecnológicas satisfatórias (Silva et al., 2016). Neste panorama, ao avaliarem a morfologia das fibras e a densidade básica da madeira de *Liquidambar* sp., Freitas et al. (2015) sugeriram o seu estudo para a utilização na produção de polpa e papel.

O liquidambar é uma espécie florestal originária da América do Norte e América Central com ampla distribuição natural, abrangendo as regiões leste e sudeste dos Estados Unidos, avançando para o sul, pelo México, até a América Central. Nos Estados Unidos, esta é a espécie folhosa de maior área plantada para fins de produção de madeira, apresentando bom crescimento em diversos tipos de solo (Shimizu, 2005).

No Brasil, o liquidambar representa uma das espécies alternativas de grande potencial para o setor florestal, especialmente para as regiões Sul e Sudeste, dada a sua capacidade de adaptação e crescimento já comprovada em plantios experimentais, e a sua disponibilidade para usos múltiplos, como polpa celulósica, dormentes, embalagens, móveis e lenha, sendo a produção de lâminas para compensado o seu uso mais valorizado (Shimizu, 2005). Além disso, segundo Shimizu & Spir (2004), a espécie tem apresentado produtividade de até 40 m<sup>3</sup>/ha.ano, avaliada aos 11 anos em Quedas do Iguaçu-PR, podendo ser comparada a eucaliptos de rápido crescimento.

O gênero *Liquidambar* tem sido pouco estudado no Brasil (Mattos et al., 2001), principalmente quanto a qualidade da

madeira, o que torna importante novas informações tecnológicas. Os estudos de qualidade da madeira para a produção de polpa celulósica envolvem inevitavelmente a sua densidade básica, a constituição química, a estrutura anatômica e, as características para a polpação. Porém, eles podem ser dispendiosos, custosos e demandar tempos excessivos, inviabilizando a sua completa realização. De tal modo, seria indicado determinar as características de qualidade da madeira, previamente aos estudos de polpação que apresentam custos bem mais elevados (Gomide et al., 2010).

Com essa proposição, teve-se por objetivo avaliar as propriedades tecnológicas da madeira de *Liquidambar* sp., para delinear o seu potencial como fonte de fibra alternativa para a produção de polpa celulósica e papel.

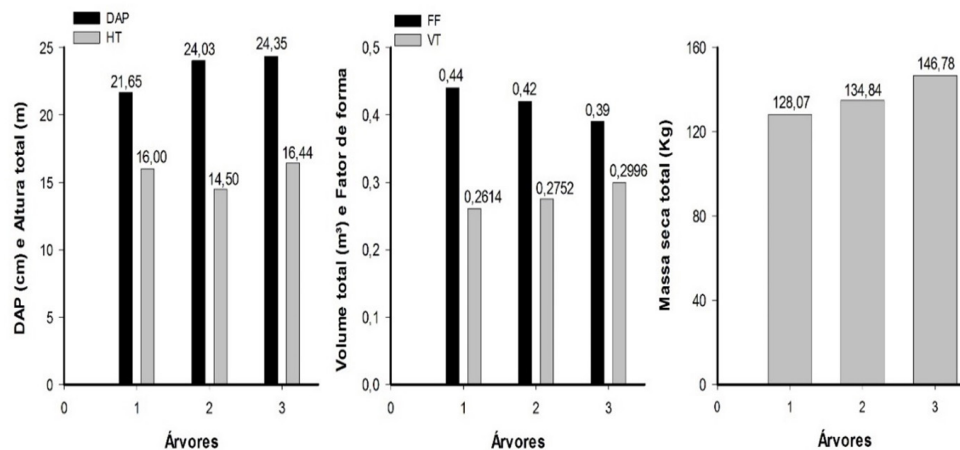
## 2 Material e Métodos

Caracterização do sítio e amostragem: foram colhidas três árvores de *Liquidambar* sp. com oito anos de idade, de um plantio localizado no município de Guaçuí, Espírito Santo (-41° 40' 46" de longitude e -20° 46' 32" de latitude), com espaçamento de 3,0 × 3,0 m. Ressalva-se que o número de árvores foi representativo a quantidade de indivíduos e a área do plantio.

O material foi selecionado em função do maior diâmetro dentro do talhão e pela retidão do fuste. As árvores (Figura 1) exibiram valores médios de diâmetro a altura do peito – DAP (130 cm do solo), altura e volume total, fator de forma e massa seca iguais a 23,34 cm; 15,65 m; 0,2787 m<sup>3</sup>; 0,42; e 136,56 kg, respectivamente. Estas foram seccionadas em toras basais de 1 m de comprimento e discos de madeira (4 cm de espessura) ao longo do tronco (Figura 2).

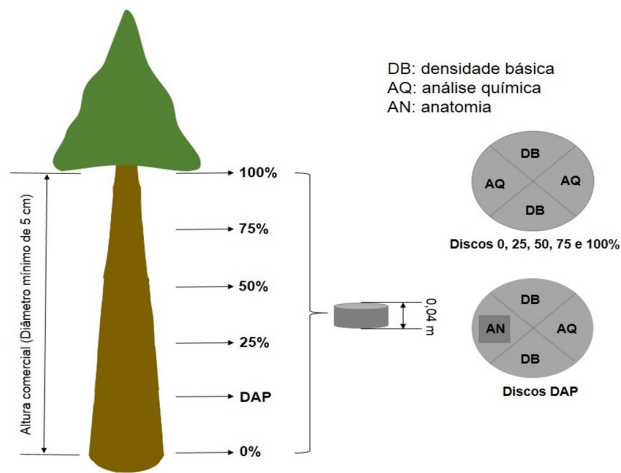
Densidade básica da madeira (DB): os discos de cada posição longitudinal das árvores (Figura 2), foram subdivididos em cunhas opostas, utilizadas para a determinação da densidade básica da madeira, de acordo com as recomendações da Norma Brasileira Regulamentadora – NBR 11941 (ABNT, 2003).

Morfologia das fibras e vasos da madeira: para o estudo microscópico do lenho de *Liquidambar* sp., foi retirada uma



**Figura 1.** Variáveis dendrométricas por árvore individual. DAP: diâmetro a altura do peito; HT: Altura total; FF: Fator de forma; VT: Volume total.

**Figure 1.** Dendrometric variables for individual tree. DBH: diameter at breast height; HT: Total height; FF: Form factor; VT: Total volume.



**Figura 2.** Esquema de amostragem das árvores de *Liquidambar* sp.

**Figure 2.** Sampling scheme of *Liquidambar* sp. trees.

amostra (1,0 × 1,5 × 2,0 cm, nas direções radial, tangencial e longitudinal, respectivamente) no cerne periférico dos discos do DAP das árvores (Figura 2). Foram seguidos os procedimentos em estudos de anatomia de madeira da Comissão Panamericana de Normas Técnicas (COPANT, 1974). Para todos os parâmetros anatômicos avaliados, foram utilizadas 25 repetições.

As amostras foram amolecidas em água à temperatura de ebulição e cortadas em micrótomo de deslize, obtendo-se seções histológicas (espessura de 18 a 20 µm) dos planos transversal e longitudinal tangencial. Com essas seções, foram montadas lâminas temporárias, utilizando glicerina e água destilada (1:1), fotomicrografadas por câmera digital acoplada ao microscópio óptico. Com o auxílio do *software* analisador de imagens, *Image Pro Express* 6.0, foi possível mensurar a frequência (FV, em nº mm<sup>-2</sup>) e o diâmetro tangencial dos vasos (DT, em µm) da madeira.

Também foi calculado de forma indireta, o volume ocupado por vasos na madeira, admitindo que os vasos são redondos e que existe um determinado número de poros ou vasos por mm<sup>2</sup> da seção do xilema (frequência), com diâmetro conhecido. Primeiramente, foi calculada a área de cada vaso em µm<sup>2</sup>, que ao ser multiplicada pela frequência foi obtida a área total de vasos por mm<sup>2</sup>, e então, este valor foi convertido em percentual de vasos em volume na madeira, considerando que as espessuras são constantes tanto para a seção de vasos como da seção restante da madeira no corte transversal, e portanto, a relação entre áreas também será entre volumes (Foelkel, 2007).

Após os cortes histológicos, as amostras foram fragmentadas em lascas de madeira, que foram submetidas ao processo de maceração em ácido acético e peróxido de hidrogênio (proporção 1:1), mantidas em estufa a 60 °C, durante 48 horas, de acordo com o método preconizado por Nicholls & Dadswell, descrito por Ramalho (1987). Depois de lavada em água corrente, a massa de fibras individualizadas foi colorida com safranina, montada em lâminas histológicas e fotomicrografadas de acordo com a metodologia empregada para vasos.

Relativo a morfologia, foram avaliados o comprimento (CF, em µm), o diâmetro do lume (DL, em µm), a largura

**Quadro 1.** Índices de qualidade das fibras da madeira para a produção de papel.

**Chart 1.** Quality Scores of wood fibers for paper production.

Variável	Expressões
Índice de Enfeltramento (IE)	$IE = \frac{CF}{LF}$
Coefficiente de Flexibilidade (Cflex)	$Cflex = \frac{DL}{LF}$
Fração Parede (FP, em %)	$FP = \frac{2xEP}{LF} x 100$
Índice de Runkel (IR)	$IE = \frac{2xEP}{DL}$

(LF, em µm) e a espessura de parede das fibras (EP, em µm). Dada a relação entre essas dimensões, foi possível calcular os índices de qualidade das fibras para a produção de papel, utilizando as expressões descritas no Quadro 1.

Propriedades químicas da madeira: as cunhas retiradas dos discos de cada posição longitudinal das árvores (Figura 2) foram fragmentadas em cavacos e depois em serragem, formando uma amostra composta, representativa da árvore inteira, avaliadas em duplicata. Os cavacos foram triturados em moinho tipo *Willey* e a serragem gerada foi classificada em peneiras de 40 e 60 *mesh*, sendo o material aceito, aquele retido na segunda malha. A serragem foi acondicionada em ambiente climatizado e armazenada em frascos hermeticamente fechados.

A análise do teor de extrativos da madeira foi realizada conforme a norma Technical Association Of The Pulp And Paper Industry – TAPPI 264 om-88 (1992), sendo as amostras submetidas a extração em álcool: tolueno (proporção 2:1, período de cinco horas), álcool (quatro horas) e água quente (uma hora). Finalizada, a marcha de extração, as amostras foram acondicionadas em estufa a 103 ± 2 °C para evaporação e remoção dos solventes. Por fim, o material foi pesado e o teor de extrativos determinado por diferença de massa.

O teor de lignina insolúvel foi determinado de acordo com os procedimentos descritos por Gomide & Demuner (1986) e a lignina solúvel, determinada de acordo com Goldschimid (1971), em espectrofotômetro UV. O teor de lignina total consistiu na soma das frações solúvel e insolúvel e o teor de holocelulose foi determinado pela diferença entre a massa inicial e a quantidade de extrativos e lignina total.

Análise estatística: os valores das propriedades tecnológicas da madeira foram avaliados pela estatística descritiva de média, desvio padrão e coeficiente de variação. Quanto a densidade básica da madeira, foi realizada uma análise de variância (teste F), complementada se necessário pelo teste de *Tukey*, para verificar se as médias dessa propriedade nas posições base-topo diferiram significativamente entre si, ao nível de 5% de significância. Para avaliar as pressuposições de normalidade e variância comum (homocedasticidade) dos dados foi utilizado o teste de *Shapiro-Wilk* e *Bartlett*, respectivamente.

### 3 Resultados e Discussão

A densidade básica média das árvores de *Liquidambar* sp. (oito anos de idade) foi igual a  $0,49 \text{ g cm}^{-3}$ , sendo as posições de 0 e 50% da altura comercial, as mais precisas para estimar esta propriedade (Figura 3) e com os menores valores de coeficiente de variação. Densidade básica igual a  $0,52 \text{ g cm}^{-3}$  foi encontrada por Mattos et al. (2001) para a madeira de *Liquidambar styraciflua* aos 16 anos de idade.

Os valores médios de densidade básica da madeira não diferiram significativamente entre as diferentes posições da altura comercial das árvores (Figura 3). A tendência da densidade básica observada no sentido base-topo das árvores foi inversa a todos os modelos propostos por Panshin & De Zeeuw (1980). Os baixos valores de desvio padrão e coeficiente de variação para as posições analisadas, também confirmaram a homogeneidade da distribuição dessa propriedade ao longo do fuste.

A madeira de liquidambar apresenta uma característica de grande importância que é a baixa variação da densidade dentro e ao longo do tronco (Mattos et al., 2001). A madeira mais homogênea quanto à densidade, reflete em uma maior uniformidade nas demais propriedades tecnológicas e contribui para um melhor desempenho e controle nas operações e na qualidade dos produtos. Logo, ao considerar apenas a densidade é possível deduzir que a mistura da madeira de todas as posições do fuste comercial não deverá influenciar na qualidade da polpa produzida (Gonzalez et al., 2014).

Para a produção de polpa e papel é desejável que a madeira possua densidade uniforme, pois a velocidade de impregnação e de deslignificação dos cavacos é influenciada por esta propriedade (Alves et al., 2011).

Em comparação a madeira de eucalipto, de mesma idade, plantada para a produção de polpa e papel, a densidade básica da madeira de *Liquidambar* sp. aos oito anos de idade, foi idêntica à média encontrada para a madeira de clones do híbrido *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* e superior à verificada em clones de *E. grandis* e *E. saligna*, provenientes de São Miguel Arcanjo - SP (Alzate et al., 2005), e do

híbrido *E. grandis* × *E. urophylla*, plantado em Brasília - DF (Gonzalez et al., 2014). A densidade da madeira de liquidambar foi inferior as médias observadas para *E. smithii* ( $0,55 \text{ g cm}^{-3}$ ) e *E. dunnii* ( $0,52 \text{ g cm}^{-3}$ ), semelhante a do *E. benthamii* ( $0,50 \text{ g cm}^{-3}$ ) e superior a do *E. botryoides* ( $0,46 \text{ g cm}^{-3}$ ) e *E. deanei* ( $0,47 \text{ g cm}^{-3}$ ), espécies plantadas em Itatinga - SP (Bufolo et al., 2009).

As empresas nacionais de celulose têm priorizado na seleção de clones de *Eucalyptus*, densidade básica da madeira próxima a  $0,50 \text{ g cm}^{-3}$ , com tendência para densidades ligeiramente inferiores (Gomide et al., 2005). Portanto, a madeira de *Liquidambar* sp. aos oito anos de idade, apresenta um atributo positivo para a produção de polpa Kraft.

Comumente, madeiras de baixa densidade, com maior proporção de espaços vazios na sua estrutura, necessitam de menor carga de álcali, em um grau de deslignificação, temperatura e tempo de cozimento pré-estabelecido, resultando em maiores rendimentos e viscosidade da polpa, e menor carga de sólidos na caldeira de recuperação (Gomide et al., 2005). Contudo, densidades muito baixas podem aumentar o consumo específico, sendo necessário um maior volume de madeira em constante movimentação na fábrica.

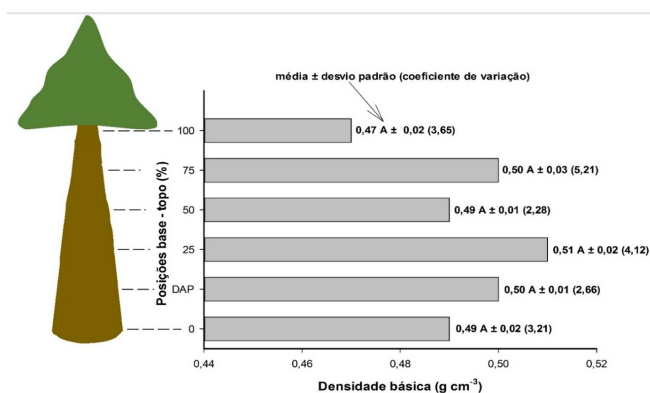
A madeira de *Liquidambar* sp. aos oito anos de idade, plantada em Guaçuí - ES, pode ser descrita como tendo fibras longas de paredes delgadas a espessas e vasos diminutos, porém muito numerosos (Tabela 1). Houve uma homogeneidade nas dimensões dos vasos e fibras, e também em relação a constituição química da espécie, confirmada pelos baixos valores de coeficiente de variação observados. Essa é uma importante característica, visto que variações na qualidade da madeira podem afetar significativamente o processo industrial, desde a produção do digestor até a qualidade da polpa celulósica (Gomide et al., 2010).

As dimensões das fibras da madeira da espécie em estudo foram maiores que as encontradas para o lenho de *E. benthamii* (seis anos) e *E. grandis* × *E. urophylla* (sete anos) por Alves et al. (2011); e para *E. grandis* × *E. urophylla* (oito anos), avaliado por Gonzalez et al. (2014).

Uma das características que mais se destacou na madeira foi o comprimento de fibras, que apresentou valor médio de 1,98 mm, mesmo sendo uma espécie folhosa. Segundo a literatura, geralmente, as espécies folhosas apresentam fibras com comprimento médio inferior a 1,5 mm, enquanto coníferas apresentam fibras mais longas, podendo variar de 3,5 a 4,0 mm (Menegazzo, 2012).

A presença de fibras mais longas é uma vantagem com relação às demais espécies de folhosas, uma vez que, o comprimento da fibra é uma característica importante, devido à relação com as resistências das fibras celulósicas e influencia na resistência do papel à tração e ao arrebentamento. As fibras longas e de parede celular mais espessa, como o observado para a madeira de *Liquidambar* sp., também favorecem a resistência ao rasgo e a dobras do papel (Alves et al., 2011), conferem maior *coarsenes* a polpa, maior volume específico aparente e opacidade aos papéis para impressão e escrita e maciez aos papéis "tissue" (Gomide et al., 2005).

Os índices indicativos de qualidade da madeira para a produção de polpa celulósica e papel são fornecidos pelas relações entre as dimensões das fibras, que em alguns casos



**Figura 3.** Variação longitudinal da densidade básica da madeira de *Liquidambar* sp. aos oito anos de idade. As médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente ao nível de 5% pelo teste F.

**Figure 3.** Longitudinal variation of wood specific gravity of *Liquidambar* sp. at eight years old. Means followed by the same letter do not differ significantly at 5% by F test.

**Tabela 1.** Estatística descritiva da morfologia das fibras e vasos, e propriedades químicas da madeira de *Liquidambar* sp. aos oito anos de idade.  
**Table 1.** Descriptive statistics of fiber and vessels morphology, and chemical properties of *Liquidambar* sp. wood at eight years old.

	CF ( $\mu\text{m}$ )	LF ( $\mu\text{m}$ )	DL ( $\mu\text{m}$ )	EP ( $\mu\text{m}$ )
<b>Fibras</b>	1980,88 $\pm$ 50,48 (2,55) <sup>1</sup>	30,83 $\pm$ 0,44 (1,43)	15,70 $\pm$ 0,45 (2,89)	7,56 $\pm$ 0,05 (0,61)
<b>Classificação IAWA (1989)</b>	Longas ( $\geq 1600 \mu\text{m}$ )	-	-	Delgadas a espessas
	IE	FP (%)	IR	Cflex
<b>Índices das fibras</b>	65,54 $\pm$ 1,60 (2,45)	49,60 $\pm$ 0,29 (0,58)	1,01 $\pm$ 0,003 (0,30)	50,40 $\pm$ 0,29 (0,57)
	DT ( $\mu\text{m}$ )	FV (n° cel. mm <sup>-2</sup> )	VV (%)	
<b>Vasos</b>	44,80 $\pm$ 1,72 (3,84)	66,16 $\pm$ 1,85 (2,79)	11,56 $\pm$ 0,76 (6,59)	
<b>Classificação IAWA (1989)</b>	Diminutos (< 50 $\mu\text{m}$ )	Muito numerosos (40 a 100 mm <sup>-2</sup> )	-	
	TE (%)	LS (%)	LI (%)	LT (%)
<b>Química</b>	4,13 $\pm$ 0,38 (9,30)	3,30 $\pm$ 0,08 (2,36)	24,90 $\pm$ 0,65 (2,59)	28,20 $\pm$ 0,70 (2,50)
			LT (%)	Holo (%)
			28,20 $\pm$ 0,70 (2,50)	67,67 $\pm$ 0,37 (0,55)

IAWA: International Association of Wood Anatomists; CF: comprimento; LF: largura; DL: diâmetro do lume; EP: espessura da parede das fibras; IE: índice de enfiamento; FP: fração parede; IR: índice de Runkel; Cflex: coeficiente de flexibilidade; DT: diâmetro tangencial; FV: frequência vascular; VV: % de vasos em volume de madeira; TE: teor de extrativos; LS, LI e LT: lignina solúvel, insolúvel e total; Holo: holocelulose. <sup>1</sup> média  $\pm$  desvio padrão (coeficiente de variação).

são mais importantes do que os valores de suas dimensões isoladas. Dentre esses cita-se o índice de enfiamento (IE), o coeficiente de flexibilidade (CF%), a fração parede (FP%) e o índice de Runkel (IR).

A madeira de liquidambar apresentou um coeficiente de flexibilidade médio igual a 50,40, e valores próximos foram encontrados para a madeira de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, que apresentou média de 49,17 (Costa, 2011).

O resultado do Índice de Runkel, permite a classifica a madeira de liquidambar como tendo fibras boas para a fabricação de papel. Este índice avalia o grau de colapso das fibras durante o processo de produção de papel, quanto menor, maior será o colapso permitindo às fibras uma maior superfície de contato, estabelecendo maior número de ligações, resultando em um papel com maior resistência à tração e ao estouro (Florsheim et al., 2009). Valores próximos aos obtidos neste estudo foram encontrados por Costa (2011) e Freitas (2015) ao estudarem a madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, que é o mais plantado no Brasil e, portanto, de grande importância no setor nacional de celulose.

A baixa densidade básica da madeira dessa espécie é explicada principalmente pela grande quantidade, por milímetro quadrado, de vasos de pequeno diâmetro. Pois, apesar da madeira ter fibras longas e com paredes delgadas a espessas, essas características contribuíram razoavelmente para o aumento dos valores de densidade. As variações da densidade básica dependem das mudanças na proporção de vasos e da espessura da parede das fibras (Oliveira & Silva, 2003). Ou seja, um aumento na proporção de vasos, com ou sem decréscimo na espessura da parede das fibras, ocasiona à redução da densidade do lenho.

A presença dos vasos do lenho favorece a penetração e impregnação dos cavacos pelo licor de cozimento Kraft. Entretanto, uma alta proporção desses elementos, reduz a densidade, como mencionado, influenciando o rendimento

e proporcionando um maior consumo específico de madeira (Alves et al., 2011).

Os elementos de vasos da madeira de liquidambar apesar de numerosos, com frequência de 60,16 células mm<sup>-2</sup>, apresentaram pequenos diâmetros (44,80  $\mu\text{m}$ ). Para a madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, com idade semelhante a deste estudo, foram encontrados valores superiores de diâmetro tangencial (92,8 a 95,59  $\mu\text{m}$ ) e inferiores de frequência de vasos (10,50 a 10,69 poros mm<sup>-2</sup>) (Barbosa, 2013; Freitas, 2015).

O percentual de vasos em volume na madeira de liquidambar foi de 11,56%, e esta característica torna-se importante, pois apesar da alta frequência, o pequeno diâmetro resultou em um percentual de vasos próximo ao da madeira de eucalipto, que se concentra entre 10 a 20% para a maioria das espécies e clones do gênero (Foelkel, 2007). Segundo o autor, madeiras com muita proporção de vasos, chegam a ter cerca de 25 a 30% do seu volume ocupado pelos vasos.

A presença de vasos de grandes diâmetros contribui para algumas características da madeira e altera negativamente outras (Foelkel, 2007). Por exemplo, nos processos de conversão da madeira em polpa celulósica, os elementos de vasos favorecem a impregnação dos cavacos. Entretanto, a polpa apresenta mais acentuadamente, um defeito conhecido como arrancamento ou arrepelamento de vasos (*vessel picking*), quando utilizadas na fabricação de papéis de impressão. Dessa forma, o pequeno diâmetro dos vasos na madeira de liquidambar pode ser considerada uma vantagem para a produção desse tipo de papel.

Quanto a composição química, verifica-se que, com exceção do teor de extrativos, que apresentou valores superiores, os teores de lignina e holocelulose foram semelhantes aos obtidos para a madeira de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, com idade próxima a deste estudo (Costa, 2011; Barbosa, 2013; Freitas, 2015).

O teor de lignina e de extrativos tem correlação negativa com rendimento, promovendo uma redução deste parâmetro com aumento da sua concentração na madeira, visto que ocorre uma intensa remoção destes constituintes durante a polpação, degradando também alguns carboidratos (Gomide et al., 2010). Embora a maior parte seja removida no início da polpação, o teor de extrativos tem um importante efeito na produção de polpa celulósica, resultando em maior demanda de químicos, a inibição de reações, dificuldades no branqueamento, e incrustações e corrosões nos equipamentos (Gouvea et al., 2012).

O teor de lignina total da madeira de liquidambar foi inferior quantitativamente e superior qualitativamente, ao observado para algumas espécies e/ou híbridos do gênero *Eucalyptus* plantados no Brasil, de mesma idade ou próxima. Destaca-se que a média de lignina foi inferior a observada por Gomide et al. (2005), para 60% dos clones de *Eucalyptus* plantados pelas principais produtoras de polpa celulósica do Brasil; bem como para a madeira de *E. grandis* x *E. urophylla* (7 anos) e *E. benthamii* (6 anos), por Alves et al. (2011).

## 4 Conclusões

A madeira de *Liquidambar* sp. apresentou características físicas, anatômicas e químicas satisfatórias para produção de polpa celulósica. A densidade básica foi semelhante à encontrada na literatura para clones do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*, atualmente, o mais utilizado pela indústria nacional de polpa e papel. Do ponto de vista anatômico, a qualidade da madeira dessa espécie foi superior à do híbrido, ao apresentar fibras mais longas que estão diretamente relacionadas a resistência do papel. Já em relação a constituição química, a madeira dessa espécie apresentou qualidade inferior, dado o maior teor de extrativos, fator que contribui para um menor rendimento em polpa.

É importante ressaltar que a madeira de *Liquidambar* sp. foi comparada a clones de eucalipto de alta qualidade e que já foram submetidos a vários programas de seleção e de melhoramento genético. Além disso, novos estudos mais detalhados deverão ser realizados para avaliar o desempenho dessa espécie nos processos de polpação Kraft e branqueamento da polpa celulósica.

## Referências

ALVES, I. C. N.; GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; SILVA, H. D. Caracterização tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de celulose Kraft. *Ciência Florestal*, v. 21, n. 1, p. 167-174, 2011. <http://dx.doi.org/10.5902/198050982759>.

ALZATE, S. B. A.; TOMAZELLO FILHO, M.; PIEDADE, S. M. S. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm. e *E. grandis* x *urophylla*. *Scientia Forestalis*, n. 68, p. 87-95, 2005.

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

BARBOSA, T. L. *Qualidade da madeira de clones de Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* cultivados em cinco regiões do estado de Minas Gerais para produção de celulose. 2013. 126 f. Dissertação

(Mestrado em Ciências Florestais)-Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2013.

BUFOLO, A.; BIBINI, G.; LIMA, I. L.; LONGUI, E. L.; FLORSHEIM, S. M. B. Variabilidade da densidade básica e das dimensões de fibra, em diferentes espécies de *Eucalyptus* plantadas em Itatinga/SP. *Revista do Instituto Florestal*, n. 40, p. 63-68, 2009.

COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS – COPANT. *Descrição macroscópica, microscópica e geral da madeira*. São Paulo: COPANT, 1974.

COSTA, J. A. *Qualidade da madeira de Eucalyptus urograndis plantado no Distrito Federal, para produção de celulose Kraft*. 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

FLORSHEIM, S. M. B.; COUTO, H. T. Z.; LIMA, I. L.; LONGUI, E. L. Variação nas dimensões dos elementos anatômicos da madeira de *Eucalyptus dunii* aos sete anos de idade. *Revista do Instituto Florestal*, v. 21, n. 1, p. 79-91, 2009.

FOELKEL, C. *Elementos de vaso e celulosos de eucalipto*. [S.l.]: Eucalyptus Online Book and Newsletter, 2007. Disponível em: <[http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT04\\_vasos.pdf](http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT04_vasos.pdf)>. Acesso em: 9 ago. 2016.

FREITAS, T. P. *Avaliação do crescimento e da qualidade da madeira de clones de Eucalyptus em dois ambientes para produção de celulose*. 2015. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2015.

FREITAS, T. P.; FEUCHARD, L. D.; OLIVEIRA, J. T. S.; PAES, J. B.; ARANTES, M. D. C. Caracterizações Anatômica e Físico-Mecânica da Madeira de *Liquidambar* sp. *Floresta*, v. 45, n. 4, p. 723-734, 2015. <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v45i4.36878>.

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

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*, v. 29, n. 1, p. 129-137, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622005000100014>.

GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. *O Papel*, 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 produção de celulose Kraft. *Revista Árvore*, v. 34, n. 2, p. 339-344, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622010000200017>.

GONÇALEZ, J. C.; SANTOS, G. L.; SILVA JUNIOR, F. G.; MARTINS, I. S.; COSTA, J. A. Relações entre dimensões de fibras e de densidade da madeira ao longo do tronco de *Eucalyptus urograndis*. *Scientia Forestalis*, v. 42, n. 101, p. 81-89, 2014.

GOUVEA, A. F. G.; GOMES, C. M.; MATOS, L. M.; SOUZA, T. A.; KUMABE, F. J. B.; BENITES, P. K. R. M. Efeito do sítio nas características tecnológicas da madeira de *Eucalyptus* para produção de celulose Kraft. *Ciência da Madeira*, v. 3, n. 2, p. 102-115, 2012. <http://dx.doi.org/10.12953/2177-6830.v03n02a04>.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS – IAWA. List of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bulletin*, v. 10, n. 3, p. 219-332, 1989.

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*, v. 19, n. 1, p. 1-8, 2012. <http://dx.doi.org/10.4322/loram.2012.001>.

MATTOS, P. P.; PEREIRA, J. C. D.; SCHAITZA, E. G.; CARVALHO, P. E. R. *Características da madeira de Liquidambar styraciflua*. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2001. 4 p. (Circular Técnica, 49).

MENEGAZZO, M. L. *Características morfológicas de celuloses branqueadas de Pinus e Eucalyptus em analisador óptico automático de fibras*. 2012. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2012.

OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, J. C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. *Revista Árvore*, v. 27, n. 3, p. 381-385, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622003000300015>.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. *Textbook of wood technology*. 4th ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 1980. 722 p.

RAMALHO, R. S. *O uso de macerado no estudo anatômico de madeiras*. Viçosa: UFV, 1987. 4 p.

SHIMIZU, J. Y. Liquidambar para Produção de Madeira no Sul e Sudeste do Brasil. *Boletim de Pesquisa Florestal*, n. 50, p. 127-138, 2005.

SHIMIZU, J. Y.; SPIR, I. H. Z. Produtividade de madeira de liquidambar (*Liquidambar styraciflua* L.) de diferentes procedências, em Quedas do Iguaçu, PR. *Revista Árvore*, v. 28, n. 4, p. 487-491, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622004000400003>.

SILVA, M. J. F.; STANGERLIN, D. M.; PARIZ, E. Potencial tecnológico da madeira de amescla para produção de polpa celulósica. *Nativa (Sinop)*, v. 4, n. 1, p. 7-10, 2016. <http://dx.doi.org/10.14583/2318-7670.v04n01a02>.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY – TAPPI. *Tappi test methods T 264 om-88: preparation of wood for chemical analysis*. Atlanta: Tappi Technology Park, 1992. v. 1.

---

**Contribuição dos autores:** Thaís Pereira Freitas realizou os experimentos e parte da escrita científica; José Tarcísio da Silva Oliveira contribuiu como orientador do trabalho e na revisão geral da escrita; João Gabriel Missia da Silva contribuiu com a revisão bibliográfica e a escrita científica; Matheus Perdigão de Castro Freitas Pereira contribuiu com a escrita científica; Juliana Ceccato Ferreira contribuiu com a revisão ortográfica e gramatical do trabalho.

**Agradecimentos:** CNPq, FAPES e CAPES.

**Fonte de financiamento:** Recurso próprio e recurso concedido pelo Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo.

**Conflito de interesse:** Os autores declaram não haver conflito de interesse.