

**PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus urophylla* S.T.
Blake NO SENTIDO RADIAL E LONGITUDINAL**

Wesley Viana Evangelista¹, José de Castro Silva², Ricardo Marius Della Lucia²,
Lilian Messias Lobo³, Maria Odete Alves de Souza⁴

Resumo: O objetivo desse trabalho foi avaliar algumas propriedades da madeira de *Eucalyptus urophylla*, no sentido radial e em duas posições no sentido longitudinal. O material, com 6,3 anos, foi proveniente da Votorantim Metais Zinco S.A., localizada em Vazante, Minas Gerais,. Utilizaram-se seis árvores, das quais foram retiradas as duas primeiras toras da base, ambas com comprimento de três metros. As toras foram desdobradas e da parte superior de cada prancha diametral retirou-se uma amostra de madeira, com um metro de comprimento, de onde prepararam-se os corpos-de-prova para a determinação das propriedades estudadas. Avaliaram-se a massa específica básica e aparente a 12% de umidade, contrações totais e a 12% de umidade, dimensões de fibras e vasos, e os módulos de ruptura e elasticidade em flexão estática. Houve tendência de aumento, no sentido medula-casca, da massa específica, contração longitudinal total, comprimento das fibras, diâmetro dos vasos e dos módulos de ruptura e elasticidade. A contração longitudinal parcial, os coeficientes anisotrópicos e a frequência de vasos diminuíram nesse sentido. As contrações tangenciais e radiais, a largura, diâmetro do lume e a espessura da parede das fibras apresentaram outros padrões de variação. Somente a contração volumétrica parcial, contração radial parcial e frequência de vasos apresentaram diferenças significativas entre a primeira e segunda tora. As principais correlações observadas foram do módulo de ruptura e elasticidade com a massa específica e do diâmetro do lume das fibras com a massa específica básica, com contração longitudinal total e com o módulo de ruptura em flexão estática.

Palavras-chave: eucalipto; massa específica; contração; anatomia da madeira; flexão estática.

¹ Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, CEP 36570-000, <wesleyviana@yahoo.com.br; odetearq@yahoo.com.br>

² Professor do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, CEP 36570-000, <jcastro@ufv.br; rdlucia@ufv.br>

³ Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, CEP 36570-000 <lobo.lilian@yahoo.com.br>

⁴ Rodrigues Monteiro Arquitetura e Construção, Rua Dr. Vasconcelos, n°. 87, Centro, Três Rios-RJ, CEP 25804-240, <odetearq@yahoo.com.br>

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE WOOD OF *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake IN THE BARK-TO-PITH DIRECTION AND ALONG THE STEM

Abstract: The objective of this work was to evaluate some wood properties of a clone of *Eucalyptus urophylla* in the radial direction and in two positions along the trunk. The studied material came from Votorantim Metais Zinco S.A., and the plantations, located in Vazante, State of Minas Gerais, Brazil, were six years old. Six trees were harvested from which were cut two logs with three meter long each. Those logs were sawed into thick diametral slabs. A one-meter sample was obtained from these planks in the radial direction. Following this, samples were taken for the evaluation of specific gravity and apparent density, shrinkage from green or from 12% moisture, fiber and vessel sizes and static bending properties. It was found that basic and apparent specific gravities, total longitudinal shrinkage, fiber length, vessel diameter and moduli of rupture and elasticity tended to increase in the bark-to-pith direction, while partial longitudinal shrinkage, the tangential/radial ratios and the vessel frequency were reduced. Radial and tangential shrinkages, width, lumen diameter and fiber wall thickness showed different patterns of variation. Only partial volumetric, radial shrinkages and vessel frequency showed different values between the two logs taken from the same tree. The main correlations observed were between modulus of elasticity and of rupture with either specific gravity or apparent density and between fiber lumen diameter with specific gravity, total longitudinal shrinkage and with modulus of rupture in static bending.

Keywords: eucalypt; specific gravity, shrinkage; wood anatomy; static bending.

1 INTRODUÇÃO

A madeira de eucalipto constitui uma importante matéria-prima para o setor florestal brasileiro, sendo utilizada, principalmente, na indústria de celulose, carvão vegetal e, mais recentemente, na construção civil e na indústria moveleira. Além da possibilidade de produção em massa de madeira com características previamente selecionadas para esses fins, é possível assegurar maior rendimento do processo de produção em todas as etapas de seu beneficiamento. Adicionalmente, pode-se ter ganhos expressivos na qualidade dos produtos em virtude da maior homogeneidade e direcionamento das propriedades da madeira para determinado uso, fator altamente desejável na atividade industrial.

A clonagem de árvores de *Eucalyptus* spp promove a homogeneização das propriedades tecnológicas da madeira, fator de grande importância na melhoria do seu desempenho industrial. A alta produtividade volumétrica das árvores, gerada a partir de melhoramento genético e manejo florestal apropriado, permite a obtenção de madeira em rotações mais curtas. No Brasil, os setores de celulose e carvão vegetal utilizam madeira a partir de cinco a sete anos de idade das árvores, idades estas significativamente mais reduzidas que aquelas obtidas em países de grande vocação florestal, como Finlândia, Canadá, Suécia, Estados Unidos, onde as rotações ultrapassam sessenta anos (SILVA et al, 2008).

A madeira apresenta variações de suas propriedades entre espécies, entre árvores da mesma espécie, clone ou híbrido clonal e dentro da mesma árvore. Segundo Panshin; De Zeeuw, (1980), as variações dentro da mesma espécie são devidas à idade, ao material genético e/ou às variações ambientais. Na literatura, existem vários trabalhos relatando essas diferenças na madeira de *Eucalyptus* spp, entre ou mesmo dentro de espécies, clones ou híbridos (TOMAZELLO FILHO, 1985; OLIVEIRA, 1997; CRUZ et al, 2003; ALZATE, 2004; ROCHA et al., 2004; SOUSA JÚNIOR, 2004; TRUGILHO et al., 2007; GONÇALVES et al., 2009; TRUGILHO, 2009). Na madeira de eucalipto, essas variações são mais evidentes na direção radial do que na direção longitudinal (OLIVEIRA, 1997; CRUZ et al, 2003).

Nesse sentido, é importante o conhecimento da variabilidade interna das propriedades da madeira para o seu melhor uso tecnológico, visando à classificação da madeira serrada com propriedades semelhantes, bem como a homogeneização de lotes para a sua comercialização. A utilização correta da madeira somente se efetivará mediante o perfeito conhecimento de suas diferentes propriedades, consequência de sua constituição química e, principalmente, anatômica. O desconhecimento dos atributos e características da madeira inviabiliza a sua correta utilização.

O objetivo desse trabalho foi avaliar a variabilidade interna da madeira de um clone de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake, por meio de algumas propriedades físicas, anatômicas e mecânicas no sentido radial e longitudinal, bem como a correlação existente entre as propriedades.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O material utilizado neste trabalho foi proveniente de um plantio comercial do clone 02 de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, com 6,3 anos de idade, pertencente à empresa Votorantim Metais Zinco S.A., localizada no município de Vazante, região noroeste do Estado de Minas Gerais. O local de onde foram retiradas as amostras situa-se nas coordenadas de 17°36'09" S e 46°42'42" W, a uma altitude de 550 metros. O clima da região é do tipo Aw, tropical úmido de savana, com inverno seco e verão chuvoso, segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual é de 24°C e a precipitação média anual é de 1450 mm.

Esse plantio de *Eucalyptus urophylla* é componente de um consórcio agrossilvipastoril, com o espaçamento 10 x 4 metros, totalizando 250 árvores por hectare.

Para este trabalho, selecionaram-se, ao acaso, seis árvores, pelos princípios da amostragem casual simples. Os dados dendrométricos das árvores selecionadas constam na Tabela 1.

Tabela 1. Variáveis dendrométricas obtidas para cada indivíduo amostrado e média total das árvores do clone 02 de *Eucalyptus urophylla*

Table 1. Growth variables of each sampled individual and average of the trees of clone number 02 of *Eucalyptus urophylla*

| Árvore | DAP | h | v |
|--------|------|-------|--------|
| 1 | 28,0 | 26,8 | 0,6606 |
| 2 | 25,5 | 25,9 | 0,5276 |
| 3 | 25,5 | 28,9 | 0,5887 |
| 4 | 26,1 | 27,9 | 0,5971 |
| 5 | 26,7 | 29,7 | 0,6671 |
| 6 | 25,5 | 30,3 | 0,6173 |
| Média | 26,2 | 28,25 | 0,6097 |

Dados fornecidos pela Votorantim Metais Zinco S.A

DAP = diâmetro a altura do peito, cm; h= altura total, m; v= volume total, m³.

Após a seleção e derrubada das árvores, retiraram-se as duas primeiras toras da base, ambas com três metros de comprimento. Em seguida, as toras foram identificadas e transportadas para o Laboratório de Propriedades da Madeira, do Departamento de Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Minas Gerais. Essas toras foram desdobradas num engenho de serra fita simples, obtendo-se da região central de cada, uma prancha diametral, contendo a região medula-casca, com dimensões de três metros de comprimento, cinco centímetros de espessura e largura correspondente ao diâmetro da tora. De cada prancha diametral, retirou-se uma amostra de madeira, com cerca de um metro de

comprimento, pertencente à parte superior da tora, que foi usada para a avaliação das propriedades da madeira, sendo elas: massa específica básica e aparente a 12% de umidade, contração total e a 12% de umidade, dimensões de fibras e vasos, resistência mecânica à flexão estática, através dos módulos de ruptura e elasticidade.

A prancha diametral resultante, com dois metros de comprimento, não foi utilizada, sendo descartada pra fins de experimentação. Ao total, utilizaram-se doze pranchas diametraes, o que corresponde a seis árvores e as duas primeiras toras por árvore.

Da parte superior da prancha diametral, que continha toda a seção medula-casca, retiraram-se três baguetas, cujo material foi utilizado para confecção dos corpos de prova para determinação da massa específica, contração e anatomia; os corpos de prova. Tais corpos de prova foram confeccionados com dimensões de 2,0 x 2,0 x 3,0 cm, sendo a última medida no sentido longitudinal. Das doze pranchas utilizadas, tomaram-se seis corpos de prova, retirados ao longo da seção radial a 0, 2, 4, 6, 8 e 10 centímetros de distância medula-casca, totalizando 72 unidades para cada determinação realizada. Da mesma prancha diametral, retiraram-se corpos de prova para a determinação da resistência mecânica à flexão estática, com dimensões de 2,0 x 2,0 x 40,0 cm, sendo a última medida no sentido longitudinal. De maneira similar, tomaram-se quatro corpos de prova de cada uma das doze pranchas utilizadas, retiradas ao longo da seção radial, a 0, 2, 4, e 6 centímetros de distância medula-casca, totalizando 48 unidades para a determinação da resistência mecânica.

Em todas as pranchas diametraes, a medula estava centralizada, fazendo-se a retirada dos corpos-de-prova ao longo de apenas uma seção lateral. O esquema de retirada dos corpos-de-prova pode ser observado na Figura 1.

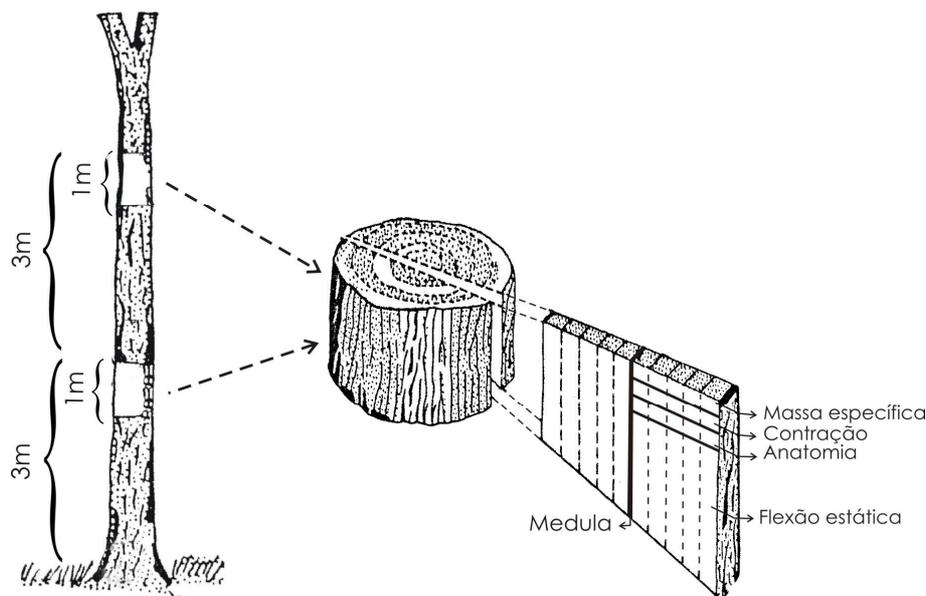


Figura 1. Esquema de retirada dos corpos-de-prova. Adaptado de Tomazello Filho (1985).

Figure 1. Scheme of the sample picked. Adapted from Tomazello Filho (1985).

A determinação da massa específica básica e aparente a 12% de umidade e da contração total da madeira foram realizadas de acordo com as recomendações da Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 7190 (ABNT, 1997). A massa específica básica foi determinada pela relação entre a massa absolutamente seca e o volume saturado da madeira, enquanto a massa específica aparente foi determinada pela relação entre a massa e o volume da madeira, ambos a 12% de umidade.

Para a determinação da massa específica básica, o volume das amostras de madeira na condição saturada ou verde foi determinado através do método da balança hidrostática, utilizando-se o mercúrio como meio de deslocamento. Para determinação da massa absolutamente seca, as amostras de madeira foram colocadas numa estufa de ventilação forçada à temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$, até atingirem massa constante. Em seguida, registrou-se o valor da massa anidra com o uso de balança de precisão de 0,01g. Para determinar a massa específica aparente, as amostras de madeira foram acondicionadas numa câmara climática, com controle automático de temperatura e umidade do ar, até atingirem massa constante, a um teor de umidade de 12%. A massa e volume da madeira, a 12% de umidade, foram determinados pelo mesmo procedimento utilizado na determinação da massa específica básica.

Para a determinação das contrações tangenciais, radiais e longitudinais, realizaram-se as medições nas direções tangencial, radial e axial (longitudinal) dos corpos-de-prova no

estado verde, a 12% de umidade e a 0% de umidade, com um paquímetro digital, com precisão de 0,01 mm. Na determinação da contração volumétrica, o volume dos corpos-de-prova foi obtido pelo produto das dimensões das direções tangencial, radial e longitudinal. A contração total foi determinada pela diferença entre as dimensões da madeira verde e seca até 0% de umidade, enquanto a contração parcial foi determinada pela diferença entre as dimensões das amostras no estado verde e a 12% de umidade. O coeficiente anisotrópico total foi determinado pela relação entre a contração tangencial e radial total, enquanto o coeficiente anisotrópico parcial foi determinado por essa mesma relação, entretanto, neste caso, utilizando as contrações parciais.

A determinação das dimensões de fibras e vasos da madeira foi feita através das recomendações da International Association of Wood Anatomists - IAWA Committee (1989). Para isso, das regiões periféricas dos corpos-de-prova, foram retirados pequenos fragmentos da madeira e os quais foram colocados num tubo de ensaio, com solução de ácido acético glacial e peróxido de hidrogênio, na proporção de 1:1. Em seguida, o tubo de ensaio foi levado à estufa, à temperatura de 60°C, por 48 horas. Após a individualização das fibras, o material foi corado com o corante azul de astra, na concentração de 1% e, posteriormente, armazenado em água destilada. Em seguida, montaram-se lâminas temporárias por meio das quais mediuse o comprimento, a largura e o diâmetro do lume através do software Axio-vision, sendo medidas 30 fibras por amostra. A espessura da parede foi estimada pela metade da diferença entre a largura e o diâmetro do lume. A avaliação da frequência de vasos por milímetro quadrado e diâmetro tangencial dos vasos foi efetuada nos mesmos corpos-de-prova utilizados anteriormente. Para isso, depois de retirados os fragmentos de madeira usados na maceração, os corpos-de-prova resultantes foram amolecidos em água quente, por cerca de 48 horas, e levados ao micrótomo para a retirada de finas seções na seção transversal. Foram realizados cortes com 16 µm de espessura e montadas lâminas semipermanentes contendo apenas o plano transversal. As medições dos vasos foram também determinadas no software Axio-Vision.

Os testes de resistência mecânica à flexão estática foram realizados numa máquina universal de ensaios EMIC, gerenciada por um computador, e os parâmetros determinados foram o módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE), cujos valores foram posteriormente corrigidos para a umidade de 12%, de acordo com as recomendações da norma NBR 7190 (ABNT, 1997).

Para a análise dos dados, realizou-se uma análise estatística descritiva, por meio da estimativa da média, desvio padrão e coeficiente de variação das propriedades da madeira, através do software Statistica e em planilhas do Excel. Para a análise da variação radial, utilizaram-se gráficos que mostravam a variação das propriedades estudadas ao longo do sentido medula-casca, também através de planilhas do Excel. Tais gráficos foram gerados a partir dos valores médios das propriedades da madeira observados a 0, 2, 4, 6, 8 e 10 centímetros de distância medula-casca, para as seis árvores avaliadas, considerando a primeira e segunda tora de cada árvore. Para a avaliação das diferenças das propriedades entre a primeira e segunda tora, utilizou-se o teste t de Student, para amostras independentes, a 5% de significância. Para a análise das correlações entre as propriedades da madeira, procedeu-se à análise do coeficiente de correlação de Pearson, a 5% de significância, através do software Statistica.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Valores das propriedades da madeira de *Eucalyptus urophylla*

Os valores médios das propriedades estudadas da madeira do clone 02 de *Eucalyptus urophylla* podem ser visualizados na Tabela 2. Esses valores correspondem à média dos valores observados de todas as propriedades avaliadas, levando em conta todas as posições radiais da primeira e segunda tora.

Tabela 2. Valores médios das propriedades da madeira do clone 02 de *Eucalyptus urophylla*
Table 2. Mean values of the wood properties of clone 02 of *Eucalyptus urophylla*

| Propriedade da madeira | | Valor médio | Desvio padrão | CV (%) |
|------------------------------------|---|-------------|---------------|--------|
| Massa específica | Básica (g/cm ³) | 0,45 | 0,03 | 7,04 |
| | Aparente (g/cm ³) | 0,55 | 0,04 | 7,50 |
| Contração total | Volumétrica (%) | 12,5 | 1,5 | 11,94 |
| | Tangencial (%) | 8,1 | 1,4 | 16,87 |
| | Radial (%) | 4,4 | 0,7 | 15,57 |
| | Longitudinal (%) | 0,29 | 0,14 | 48,05 |
| | Coefficiente anisotrópico | 1,9 | 0,5 | 24,41 |
| Contração parcial (12% de umidade) | Volumétrica (%) | 7,8 | 1,3 | 10,71 |
| | Tangencial (%) | 5,3 | 1,3 | 23,59 |
| | Radial (%) | 2,5 | 0,7 | 28,15 |
| | Longitudinal (%) | 0,09 | 0,09 | 102,39 |
| | Coefficiente anisotrópico | 2,2 | 0,8 | 34,00 |
| Fibras | Comprimento (mm) | 0,95 | 0,09 | 9,91 |
| | Largura (µm) | 21,41 | 0,97 | 4,52 |
| | Diâmetro do lume (µm) | 12,79 | 1,28 | 9,99 |
| | Espessura da parede (µm) | 4,31 | 0,47 | 10,96 |
| Vasos | Frequência (vasos x mm ⁻²) | 9,7 | 2,8 | 29,1 |
| | Diâmetro (µm) | 119,22 | 21,16 | 17,75 |
| Flexão estática | Módulo de ruptura (kgf/cm ²) | 777 | 110 | 14,11 |
| | Módulo de elasticidade (kgf/cm ²) | 100.629 | 23.949 | 23,80 |

CV = coeficiente de variação.

Em geral, os valores observados das propriedades da madeira de *Eucalyptus urophylla* estão de acordo com aqueles encontrados na literatura para outros clones de *Eucalyptus* spp. Vale et al. (2002) observaram valores médios de massa específica básica de 0,50 g/cm³ em dois clones de *Eucalyptus urophylla*, ambos com seis anos de idade, procedentes do município de Paracatu/MG. Cruz et al. (2003), ao estudarem seis clones de *Eucalyptus urophylla* e um clone de *Eucalyptus camaldulensis*, com idades de 5,5 e 10,5 anos, procedentes de Vazante/MG, encontraram valores médios gerais similares de massa específica básica (0,505 g/cm³), contrações totais (volumétrica: 13,5%; tangencial: 8,9%; radial: 4,9%), coeficiente anisotrópico (1,91) e valores mais altos do módulo de ruptura (94 MPa) e de elasticidade (15.044 MPa) em flexão estática aos observados nesse trabalho. Trugilho et al. (2007), ao avaliar quinze clones de *Eucalyptus* spp, com 5,8 anos, procedentes de Vazante/MG, também observaram valores similares aos observados nesse trabalho para a massa específica básica, contrações totais e coeficiente anisotrópico, comprimento (0,93 mm) e diâmetro do lume das fibras (11,18 µm), valores superiores de módulo de ruptura e

inferiores de módulo de elasticidade, largura (15,76 μm) e espessura da parede das fibras (2,29 μm).

3.2 Variação radial das propriedades da madeira

A variação da massa específica básica e aparente no sentido medula-casca pode ser visualizada na Figura 2.

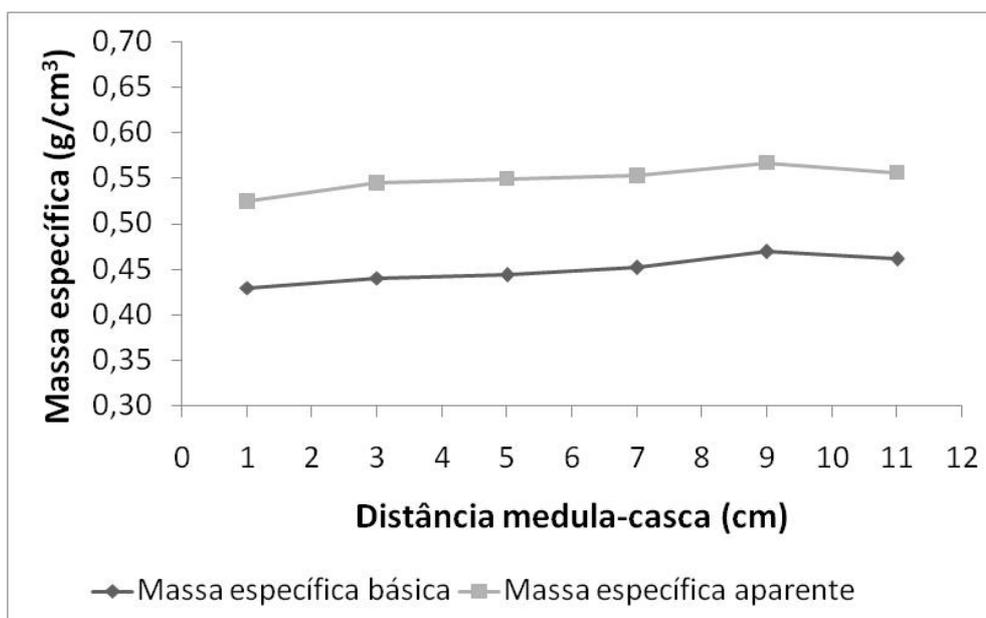


Figura 2. Variação medula-casca da massa específica básica e aparente a 12% de umidade.

Figure 2. Bark-to-pith variation of basic and apparent specific gravities.

A massa específica básica e aparente apresentou uma tendência de aumento, sem grande amplitude de variação em torno do valor médio (0,45 g/cm³ e 0,55 g/cm³ para a massa específica básica e aparente, respectivamente). Em geral, houve aumento da massa específica básica e aparente de um até nove centímetros, diminuindo a partir desses valores até onze centímetros de distância medula-casca. Tendência similar de variação à observada nesse trabalho foi também observado por Vale et al. (2002) nas madeiras de clones de *Eucalyptus urophylla*. Importante destacar que a variação da massa específica no sentido medula-casca foi muito baixa, indicando homogeneidade dessa propriedade nesse sentido. O aumento da massa específica básica ao longo do sentido medula-casca em *Eucalyptus* spp também já foi registrado por Oliveira (1997), Cruz et al. (2003), Alzate (2004) e Sousa Júnior (2004).

A variação das contrações totais e parciais e do coeficiente anisotrópico no sentido medula-casca pode ser visualizada na Figura 3.

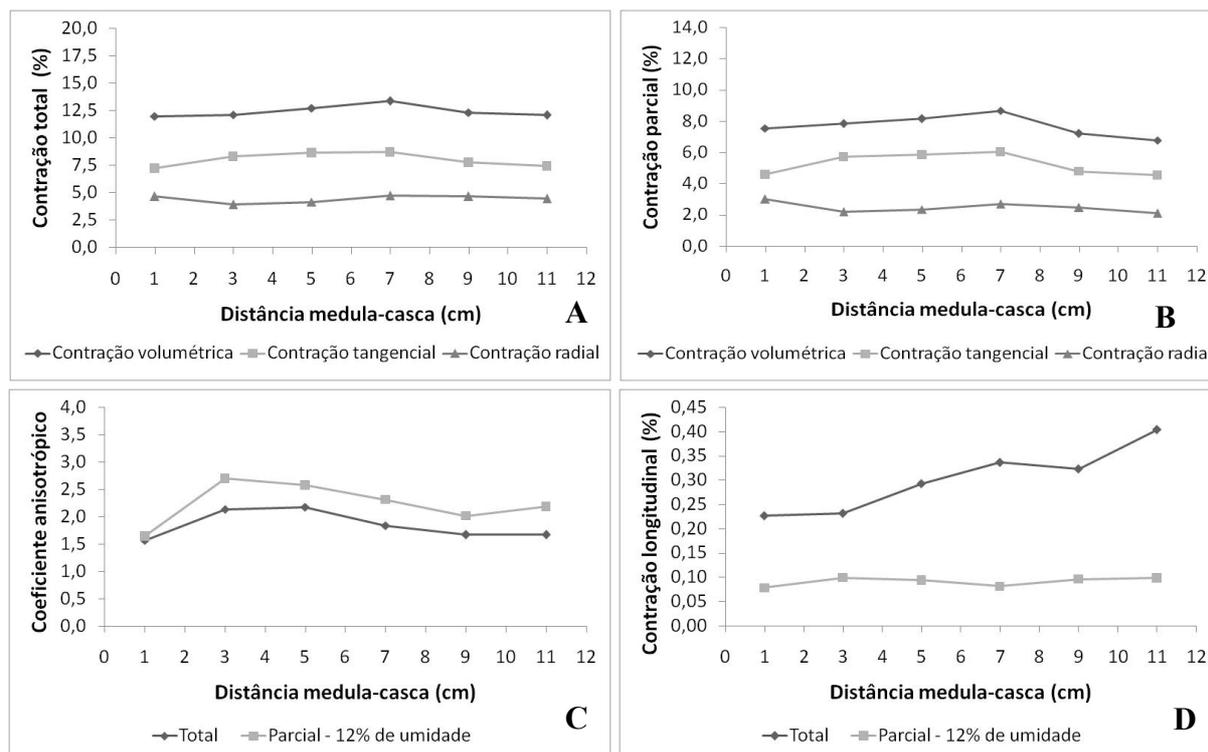


Figura 3. Variação medula-casca das contrações volumétricas, tangenciais e radiais totais (A) e parciais (B); dos coeficientes anisotrópicos totais e parciais (C) e das contrações longitudinais totais e parciais (D).

Figure 3. Bark-to-pith variation of volumetric, tangential and radial shrinkages, both total (A) and partial (B); tangential/radial ratios, both total and partial (C) and total and partial longitudinal shrinkages (D).

Com relação às contrações totais e parciais, não se observaram grandes variações ao longo do sentido medula-casca. Nas contrações volumétricas e tangenciais verificou-se uma tendência de aumento da medula até a região de sete centímetros de distância, reduzindo-se desse ponto até próximo de onze centímetros. As contrações radiais apresentaram diminuição da medula de até três centímetros, aumentando posteriormente até nove centímetros e tendo nova diminuição até onze centímetros de distância medula-casca (Figuras 3A e 3B). Os coeficientes anisotrópicos, total e parcial, apresentaram aumento até três centímetros de distância, seguido de redução até a região mais próxima a casca (Figura 3C). No coeficiente anisotrópico parcial, observou-se também um aumento entre nove e onze centímetros de distância medula-casca. Tendência de variação similar à observada nesse trabalho foi também registrada por Cruz et al. (2003). Os autores registraram em clones de *Eucalyptus urophylla* o aumento das contrações totais da região central da madeira até uma posição intermediária. A partir daí, houve novo aumento na contração radial até a parte mais externa e diminuição nesse mesmo sentido para a contração volumétrica e tangencial.

As contrações longitudinais apresentaram diferentes padrões de variação (Figura 3D). Na contração longitudinal total, observou-se tendência de aumento no sentido medula-casca, exceto entre sete e nove centímetros de distância, quando houve diminuição. Na contração longitudinal parcial, houve aumento de um até três centímetros, diminuindo até sete centímetros, seguido novamente de aumento até onze centímetros de distância medula-casca. Os valores médios observados de contração longitudinal parcial estão de acordo com aqueles encontrados na literatura para a madeira de *Eucalyptus* spp, conforme registrado por Oliveira (1997) e Sousa Júnior (2004).

A variação das dimensões de fibras e vasos no sentido medula-casca pode ser vista na Figura 4.

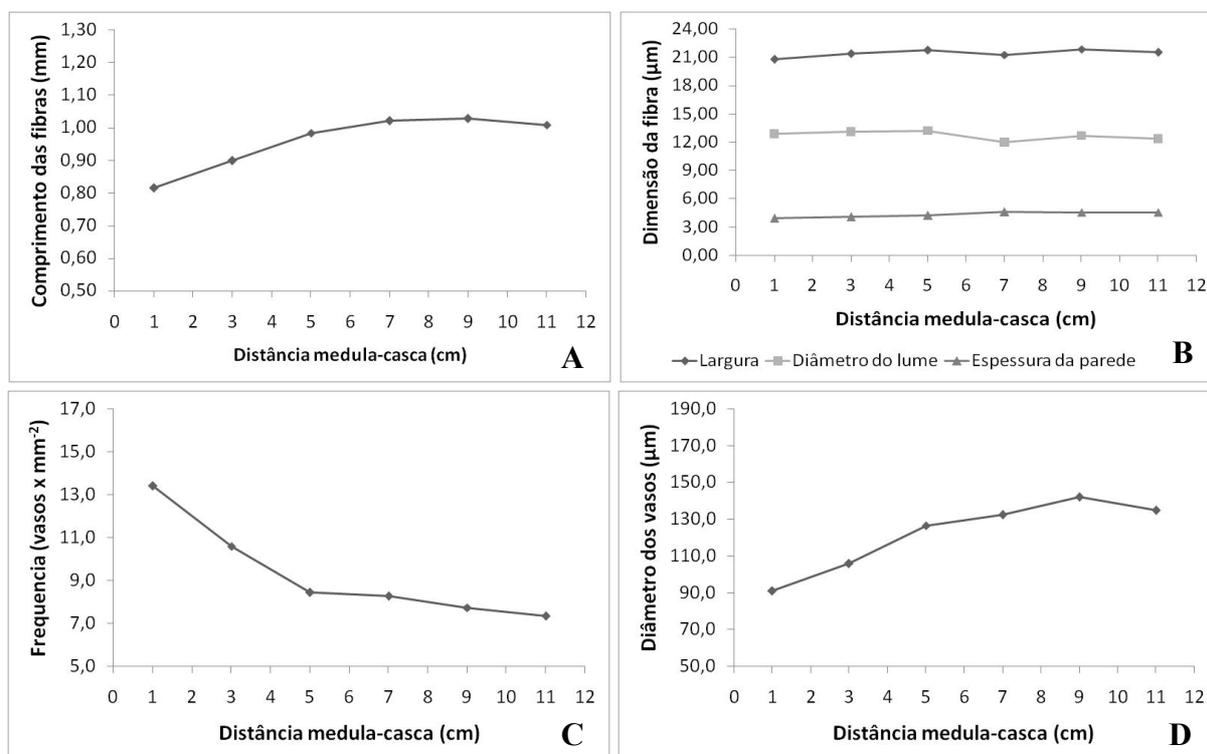


Figura 4. Variação medula-casca do comprimento (A), da largura, diâmetro do lume e espessura da parede (B) das fibras e da frequência (C) e diâmetro dos vasos (D).

Figure 4. Bark-to-pith variations of length (A), width, lumen diameter and wall thickness (B) of fibers and frequency (C) and diameter (D) of vessels.

Observou-se um aumento crescente do comprimento das fibras no sentido medula-casca, tendendo a uma estabilização a partir de sete centímetros de distância medula-casca (Figura 4A). O aumento crescente do comprimento das fibras no sentido medula-casca também já foi observado por Oliveira (1997), Alzate (2004), Rocha et al. (2004) e Sousa Júnior (2004) em *Eucalyptus* spp. Para a largura, diâmetro do lume e espessura da parede das

fibras, observou-se uma reduzida variação ao longo do sentido medula-casca, ocorrendo pequenas oscilações dos gráficos em torno do valor médio central (Figura 4B). A largura e o diâmetro do lume das fibras apresentaram aumento de um até cinco centímetros, diminuindo até sete centímetros, seguido de novo aumento até nove centímetros, com uma nova diminuição até onze centímetros de distância medula-casca. Já a espessura da parede mostrou aumento de um até sete centímetros, mantendo-se constante até próxima à casca. Geralmente, o diâmetro do lume e a espessura da parede das fibras tendem a apresentar uma relação inversamente proporcional.

Com relação aos vasos, houve uma diminuição da frequência no sentido medula-casca, sendo essa diminuição mais brusca entre um e cinco centímetros de distância medula-casca (Figura 4C). Observou-se também um aumento do diâmetro dos vasos até cerca de nove centímetros, seguido de uma redução até a região mais próxima a casca (Figura 4D). Padrões similares aos observados nesse trabalho para os vasos da madeira foram também observados por Rocha et al. (2004) e Sousa Júnior (2004). Rocha et al. (2004) observaram aumento do diâmetro e diminuição da frequência de vasos na madeira de *Eucalyptus grandis*, com sete anos de idade e procedentes de Telêmaco Borba/PR. Sousa Júnior (2004) também observou uma diminuição da frequência e tendência de aumento do diâmetro dos vasos no sentido medula-casca da madeira de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus cloeziana*, ambas procedentes de dois municípios diferentes: Paraopeba (com 15 anos) e Turmalina (com 25 anos), situados em Minas Gerais.

A variação dos módulos de ruptura e elasticidade em flexão estática pode ser vista na Figura 5.

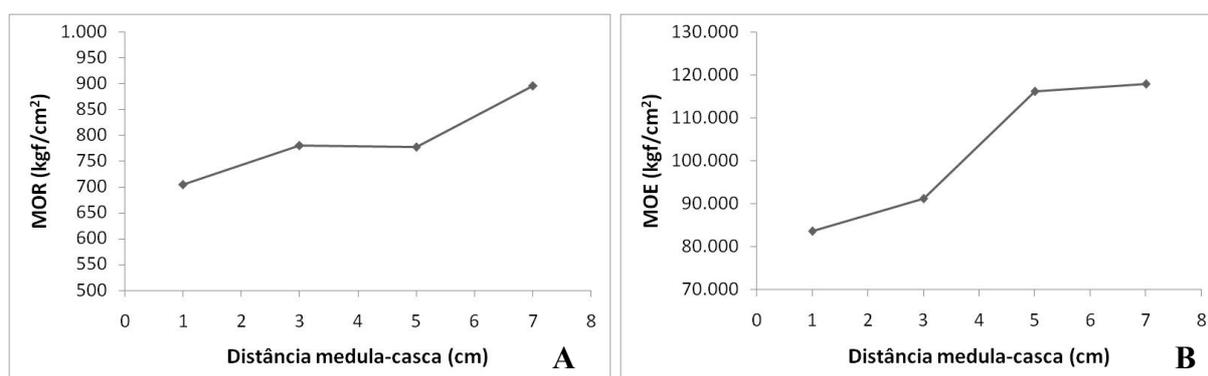


Figura 5. Variação medula-casca do módulo de ruptura (A) e do módulo de elasticidade (B) em flexão estática.

Figure 5. Bark-to-pith variation of modulus of rupture (A) and of modulus of elasticity (B) determined in static bending.

O módulo de ruptura apresentou aumento de um até três centímetros, mantendo-se constante até cinco centímetros, seguido novamente de aumento até sete centímetros de distância medula-casca (Figura 5A). Já o módulo de elasticidade apresentou aumento ao longo de todo o sentido medula-casca, sendo esse aumento mais evidente entre um e cinco centímetros de distância. Essa tendência de aumento crescente dos valores dos módulos de ruptura e de elasticidade no sentido medula-casca também foi verificada por Cruz et al. (2003), Sousa Júnior (2004) e Gonçalves et al. (2009) para a madeira de *Eucalyptus* spp.

3.3 Variação entre a primeira e segunda toras da madeira

Os valores médios das propriedades da madeira de *Eucalyptus urophylla* para a primeira e segunda toras podem ser vistos na Tabela 3. Esses valores correspondem à média dos valores observados em todas as posições radiais na primeira e na segunda toras.

Tabela 3. Valores médios das propriedades da madeira de *Eucalyptus urophylla* na primeira tora e segunda tora

Table 3. Mean values of the properties of the wood of *Eucalyptus urophylla* of the first and second logs

| Propriedade da madeira | | Primeira tora | Segunda tora | Valor médio central |
|------------------------------------|---|---------------|--------------|---------------------|
| Massa específica | Básica (g/cm ³) | 0,45 a | 0,44 a | 0,45 |
| | Aparente (g/cm ³) | 0,56 a | 0,54 a | 0,55 |
| Contração total | Volumétrica (%) | 13,0 a | 12,0 a | 12,5 |
| | Tangencial (%) | 8,3 a | 7,9 a | 8,1 |
| | Radial (%) | 4,7 a | 4,2 a | 4,4 |
| | Longitudinal (%) | 0,31 a | 0,27 a | 0,29 |
| | Coefficiente anisotrópico | 1,8 a | 1,9 a | 1,9 |
| Contração parcial (12% de umidade) | Volumétrica (%) | 8,3 b | 7,3 a | 7,8 |
| | Tangencial (%) | 5,5 a | 5,1 a | 5,3 |
| | Radial (%) | 2,8 b | 2,2 a | 2,5 |
| | Longitudinal (%) | 0,10 a | 0,08 a | 0,09 |
| | Coefficiente anisotrópico | 2,1 a | 2,4 a | 2,2 |
| Fibras | Comprimento (mm) | 0,94 a | 0,96 a | 0,95 |
| | Largura (µm) | 21,1 a | 21,7 a | 21,4 |
| | Diâmetro do lume (µm) | 12,7 a | 12,9 a | 12,8 |
| | Espessura da parede (µm) | 4,22 a | 4,41 a | 4,31 |
| Vasos | Frequência (vasos x mm ⁻²) | 117,31 a | 121,34 b | 119,22 |
| | Diâmetro (µm) | 8,9 a | 10,5 a | 9,7 |
| Flexão estática | Módulo de ruptura (kgf/cm ²) | 787 a | 764 a | 777 |
| | Módulo de elasticidade (kgf/cm ²) | 101.218 a | 99.844 | 100.629 |

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

As diferenças entre a primeira e segunda toras foram somente verificadas na contração volumétrica parcial, contração radial parcial e frequência de vasos. Nas demais propriedades, embora fossem observadas diferenças entre os valores médios, tais diferenças não foram estatisticamente significativas.

Nesse trabalho, as variações no sentido radial foram mais evidentes do que aquelas observadas no sentido longitudinal. OLIVEIRA (1997); CRUZ et al, (2003) também observaram essa mesma tendência na madeira de *Eucalyptus* spp.

3.4 Correlações

A Tabela 4 mostra os valores dos coeficientes de correlação de Pearson testados para a massa específica aparente e básica, com as propriedades mecânicas e anatômicas da madeira.

Tabela 4. Coeficiente de correlação de Pearson da massa específica com a resistência mecânica à flexão estática e dimensões de fibras e vasos

Table 4. Pearson's correlations coefficient between specific gravity and static bending, fiber and vessel size

| Coeficiente de Correlação (r) (p<0,05) | MOR | MOE | CF | LF | DL | EP | FV | DV |
|---|------|------|------|-------|-------|------|------|------|
| MEB | 0,45 | 0,55 | n.s. | -0,38 | -0,51 | n.s. | n.s. | n.s. |
| MEA | 0,43 | 0,51 | n.s. | -0,36 | -0,38 | n.s. | n.s. | n.s. |

n.s. não significativo.

MEB: massa específica básica, MEA: massa específica aparente, MOR: módulo de ruptura em flexão estática, MOE: módulo de elasticidade em flexão estática, CF: comprimento das fibras, LF: largura das fibras, DL: diâmetro do lume das fibras, EP: espessura da parede das fibras, FV: frequência dos vasos, DV: diâmetro dos vasos.

A massa específica básica e aparente apresentou correlações positivas e significativas com os módulos de ruptura (MOR) e de elasticidade (MOE), sendo que os maiores coeficientes de Pearson foram observados com o MOE. Essas correlações indicam que quanto maior a massa específica, maior será os valores de MOR e MOE. A massa específica básica e aparente apresentou também correlações significativas, entretanto negativas, com a largura e o diâmetro do lume das fibras, indicando que quanto maior a massa específica menor serão essas dimensões das fibras. A correlação mais evidente foi observada entre a massa específica básica e o diâmetro do lume das fibras, enquanto as demais correlações, apesar de significativas, foram também relativamente baixas, indicando baixa relação dessas propriedades com a massa específica.

Em geral, a massa específica apresenta correlação significativa com as propriedades mecânicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus* spp, conforme relatado por Oliveira

(1997), Adorno; Garcia, (2003); Cruz et al. (2003) e Sousa Júnior (2004). Cruz et al. (2003) e Sousa Júnior (2004) observaram correlações positivas entre a massa específica e o MOR e MOE e correlações negativas entre a massa específica e o diâmetro do lume. Oliveira (1997) também registrou correlação significativa da massa específica com o diâmetro do lume das fibras na madeira de cinco espécies de eucalipto. Adorno; Garcia, (2003) observaram correlações significativas entre a massa específica e o MOR e MOE na madeira de quinze clones de *Eucalyptus urophylla* e de dezoito clones de *Eucalyptus grandis*.

As correlações entre as propriedades físico-mecânicas e anatômicas constam na Tabela 5.

Tabela 5. Coeficiente de correlação de Pearson das dimensões de fibras e vasos com as contrações e a resistência mecânica à flexão estática

Table 5. Pearson's correlation coefficients between fiber and vessel sizes and shrinkages and static bending properties

| Coeficiente de Correlação (r) ($p < 0,05$) | CF | LF | DLF | EPF | FV | DV |
|---|------|------|-------|-------|-------|------|
| CVt | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |
| CTt | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |
| CRt | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |
| CAt | n.s. | 0,42 | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |
| CLt | 0,36 | n.s. | -0,51 | -0,46 | -0,36 | n.s. |
| CVp | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |
| CTp | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |
| CRp | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |
| CAp | n.s. | 0,41 | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |
| CLp | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |
| MOR | 0,41 | n.s. | -0,56 | 0,51 | n.s. | n.s. |
| MOE | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |

n.s.: não significativo.

CVt: contração volumétrica total, CTt: contração tangencial total, CRt: contração radial total, CAt: coeficiente anisotrópico total, CLt: contração longitudinal total, CVp: contração volumétrica parcial, CTp: contração tangencial parcial, CRp: contração radial parcial, CAp: coeficiente anisotrópico parcial, CLp: contração longitudinal parcial, CF: comprimento das fibras, LF: largura das fibras, DL: diâmetro do lume das fibras, EP: espessura da parede das fibras, FV: frequência dos vasos, DV: diâmetro dos vasos.

A contração longitudinal total, os coeficientes anisotrópicos e o MOR apresentaram correlações significativas com algumas propriedades anatômicas. A contração longitudinal total apresentou correlação positiva com o comprimento das fibras e correlações negativas com o diâmetro do lume e espessura da parede das fibras e também com a frequência dos vasos. Houve também correlações positivas do coeficiente anisotrópico total e parcial com a largura das fibras. Correlações positivas também foram observadas entre o MOR e o

comprimento e espessura de parede das fibras assim como correlação negativa entre o MOR e o diâmetro do lume das fibras. As correlações observadas, apesar de significativas, foram também baixas, indicando baixa relação entre elas.

4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos nesse trabalho pode-se concluir que:

As propriedades avaliadas da madeira do clone 02 de *Eucalyptus urophylla* apresentaram variações ao longo do sentido medula-casca. Houve tendência de aumento da massa específica básica e aparente a 12 % de umidade, contração longitudinal total, comprimento das fibras, diâmetro dos vasos e dos módulos de ruptura e elasticidade em flexão estática. A contração longitudinal parcial, os coeficientes anisotrópicos e a frequência de vasos diminuíram ao longo desse sentido.

A maioria das propriedades avaliadas não apresentou diferença estatística significativa entre as duas posições do sentido longitudinal, com exceção da contração volumétrica parcial, da contração radial parcial e da frequência de vasos.

Algumas propriedades da madeira apresentam correlações estatísticas entre si, entretanto essas correlações, apesar de significativas, foram também relativamente baixas, indicando baixa relação entre as propriedades estudadas. As correlações significativas que apresentaram maior coeficiente de correlação de Pearson, acima de 0,5 e positivas, foram a do módulo de elasticidade em flexão estática com a massa específica básica e com a massa específica aparente. Já as correlações significativas com coeficiente de correlação de Pearson, acima de 0,5 e negativas, foram a do diâmetro do lume das fibras com a massa específica básica, com contração longitudinal total e com o módulo de ruptura em flexão estática.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro e a Votorantim Metais Zinco S.A. pela doação do material.

6 REFERÊNCIAS

ADORNO, M. F. C.; GARCIA, J. N. Correlações lineares entre as principais características tecnológicas da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, n. 63, p. 44-53, 2003.

ALZATE, S. B. A. **Caracterização da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E. grandis* x *urophylla***. 2004. 133 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais - Tecnologia de Produtos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Projeto de estruturas de madeira** – NBR 7190. Rio de Janeiro: ABNT. 1997. 107 p.

CRUZ, C. R.; LIMA, J. T.; MUNIZ, G. I. B. Variações dentro das árvores e entre clones das propriedades físicas e mecânicas da madeira de híbridos de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, n. 64, p. 33-47, 2003.

GONÇALVES, F. G. et al. Estudo de algumas propriedades mecânicas da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 33, n. 3, p. 501-509, 2009.

IAWA COMMITTEE. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin** n.s., v. 10, n. 3, 1989. p. 221-332.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. 1997. 2 v., 429 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1997.

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

ROCHA, F. T.; FLORSHEIM, S. M. B.; COUTO, H. T. Z. Variação das dimensões dos elementos anatômicos da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden aos sete anos. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, SP, v. 16, n. 1, p. 43-55, 2004.

SILVA, J. C.; CASTRO, V. R.; XAVIER, B. A. **Manual prático do fazendeiro florestal: produzindo madeira com qualidade**. 2. ed. Viçosa, MG, 2008. 72p.

SOUSA JÚNIOR, W. P. **Propriedades físicas, mecânicas e anatômicas das madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e de *Eucalyptus urophylla* oriundas dos municípios de turmalina e de Paraopeba (MG)**. 2004. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, Piracicaba, v.29, p.37-45, 1985.

TRUGILHO, P. F. et al. Qualidade da madeira de clones de espécies e híbridos naturais de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, n. 73, p. 55-62, 2007.

TRUGILHO, P. F. Densidade básica e estimativa de massa seca e de lignina na madeira em espécies de *Eucalyptus*. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 33, n. 5, p. 1228-1239, set./out., 2009.

VALE, R. S. et al. Efeito da desrama artificial na qualidade da Madeira de clones de eucalipto em sistema agrossilvipastoril. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 3, p. 285-297, 2002.