

VARIAÇÃO NAS DIMENSÕES DOS ELEMENTOS ANATÔMICOS DA MADEIRA DE *Eucalyptus dunnii* AOS SETE ANOS DE IDADE¹

Sandra Monteiro Borges FLORSHEIM²

Hilton Thadeu Zarate do COUTO³

Israel Luiz de LIMA⁴

Eduardo Luiz LONGUI⁵

RESUMO

A variação nas dimensões dos elementos anatômicos do lenho tem efeito marcante sobre a qualidade da madeira e o produto final. A compreensão da variação da madeira nas direções radial e longitudinal do tronco da árvore pode auxiliar pesquisadores das áreas de manejo florestal e de tecnologia de madeira na obtenção de produtos de melhor qualidade. Nesse sentido, foram coletadas amostras de árvores de *Eucalyptus dunnii* aos sete anos de idade, das classes sociológicas dominante, intermediária e dominada, com o objetivo de verificar as variações dos elementos anatômicos entre as árvores. De cada árvore foram retirados discos de madeira na posição base, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial. Em cada disco foram demarcados corpos-de-prova nas posições 0%, 50% e 100% do raio. Os elementos anatômicos foram mensurados por meio de análise de imagens. Os resultados permitiram concluir que: a) das classes sociológicas, a intermediária apresentou fibras mais longas, maiores valores de diâmetro, lume tangencial dos vasos mais curtos e maiores valores em todas as dimensões dos raios; b) com relação à altura da árvore, os maiores valores de diâmetro tangencial, lume e parede das fibras, bem como de altura e largura dos raios foram encontrados na base, e c) na direção radial, todas as dimensões das fibras, comprimento e diâmetro dos vasos, como também a altura e a largura dos raios, foram crescente no sentido medula-casca.

Palavras-chave: *Eucalyptus dunnii*; classe sociológica; elementos anatômicos; variação longitudinal e radial.

1 INTRODUÇÃO

A espécie *Eucalyptus dunnii* é encontrada naturalmente em regiões de baixas altitudes e no fundo de vales em regiões de solos basálticos e nas bordas de florestas tropicais na Austrália (Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO, 1979).

ABSTRACT

The variation in the dimensions of the anatomical elements of the xylem has a remarkable effect on the quality of wood and on the final product. The comprehension of the wood variation along the radial and longitudinal axis of the tree stem can help forest management and wood technology researchers in getting better quality products from planted forests. In order to gather further information about this subject, wood samples were collected of dominant, intermediate and dominated trees of *Eucalyptus dunnii* at the age of seven years. The aim of this paper was to analyze the dimensional variation of the anatomical elements in the pith-bark and bottom-top directions. From each tree, wood disks were taken from positions correspondent to bottom, 25%, 50%, 75% and 100% of the commercial height. From each disk, samples were obtained from the positions 0%, 50% and 100% of the radius. The anatomical elements were measured through image analysis. The results indicated that: a) of all sociological classes, the intermediary one showed the highest values of fiber length, diameter, lumen and vessel length, vessel diameter, vessels frequency and the highest value for all dimensions; b) concerning to height position in the tree, the highest values of length, diameter of the fibers, frequency high and width of the rays, were found at 50% of commercial height, and c) all fiber dimensions, vessel diameter and length, as well as and height and width of rays increased from pith to bark.

Keywords: *Eucalyptus dunnii*; sociological classes; anatomical elements; pith-bark and bottom-top variation.

Na região de origem, ocorre em solos úmidos, férteis, principalmente de origem basáltica, mas também em solos de origem sedimentar, principalmente naqueles bem drenados. Na Austrália, seu crescimento é considerado um dos mais rápidos entre as espécies do gênero *Eucalyptus*.

(1) Aceito para publicação em março de 2009.

(2) Instituto Florestal, Caixa Postal 1322, 01059-970, São Paulo, SP, Brasil. E-mail: sflorsheim@if.sp.gov.br

(3) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Caixa Postal 99, 13400-970, Piracicaba, SP, Brasil. E-mail: hzcouto@carpa.ciagri.usp.br

(4) Instituto Florestal, Caixa Postal 1322, 01059-970, São Paulo, SP, Brasil. E-mail: israeluizde.lima@yahoo.com.br

(5) Instituto Florestal, Caixa Postal 1322, 01059-970, São Paulo, SP, Brasil. E-mail: elongui@if.sp.gov.br

No Brasil, tem-se destacado pelo rápido crescimento, uniformidade dos talhões, forma das árvores e tolerância às geadas. A limitação para plantios comerciais dessa espécie consiste na baixa produção de sementes. Monteiro (1990) afirma que, na região Sul do Brasil, as baixas temperaturas e as geadas criam grandes restrições na ampla utilização das terras para o cultivo do eucalipto, e entre as espécies que apresentam maior tolerância ao frio está o *E. dunnii*. Com base nessa característica, algumas empresas vêm elaborando programas de pesquisas em avaliação silvicultural e de melhoramento para essa espécie.

Carpim & Barrichelo (1983), relatam que a madeira de *E. dunnii* com oito anos de idade apresenta densidade básica de 0,52 g/cm³. Para Silva Júnior (1994), sob o aspecto estritamente tecnológico, a madeira de *E. dunnii* não é considerada como uma excelente fonte de matéria-prima para produção de celulose. Considerando suas principais características silviculturais, tais como, boa resistência à geada, produtividade e forma boa, essa espécie pode ser considerada promissora, especialmente para plantio na região Sul do Brasil. Além disso, apresenta um menor teor de lignina nos cavacos quando comparada ao *E. grandis* que pode ser considerado benéfico uma vez que poderá levar a uma redução do teor de lignina residual na polpa. Pode, ainda, trazer como consequência maior rendimento em celulose por operação de cozimento devido ao maior peso de madeira por unidade de volume de digestor. A possibilidade de utilização da madeira de *E. dunnii* significa mais uma alternativa silvicultural, especialmente para as empresas localizadas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil.

Segundo Pereira *et al.* (2000) a madeira de *E. dunnii* é considerada de baixa durabilidade, com densidade básica ao redor de 0,61 g/cm³ e de qualidade inferior à de *E. saligna* e *E. microcorys*, quando utilizada como madeira serrada. Porém, no Brasil, Calori & Kikuti (1997) testando propriedades físicas e mecânicas da madeira de *E. dunnii* com 20 anos de idade, em função dos resultados obtidos, recomendam tal madeira para situações em que se exigem resistências mecânicas, para fins estruturais, como assoalhos, parquetes, carrocerias, cabos de ferramentas. Por outro lado, Rocha (2000), concluiu que a utilização de *E. dunnii* para obtenção de madeira serrada em substituição a madeiras nativas, no estudo realizado, não se mostrou viável quando se

deseja madeira em classes de qualidade superiores. Iwakiri *et al.* (2008), concluíram que tanto *E. grandis* quanto *E. dunnii* tem grande probabilidade de uso para a produção de painéis OSB no Brasil.

Trugilho *et al.* (2005) recomendam a utilização da madeira de *E. dunnii*, individualmente, ou em mistura com a madeira de *Pinus elliottii*, na produção de chapas de partículas de madeira aglomerada, o que contribui para incrementar o volume de matéria-prima a ser disponibilizada. Monteiro (1990), estudando o comportamento ao frio de espécies/procedências de *Eucalyptus* na Klabin do Paraná, verificou que as procedências australianas Moleton, Urbenville e Acacia Creek de *E. dunnii*, foram pouco afetadas pelo inverno de 1975 e mostraram bom desenvolvimento nas condições ecológicas brasileiras, particularmente no espaçamento de 3,0 m x 3,0 m.

Para Schneider *et al.* (1997), a espécie responde bem ao crescimento em volume e altura, nas regiões onde ocorrem chuvas de verão bem distribuídas. Por esse motivo tem despertado especial atenção por parte das empresas de celulose, especialmente pela sua densidade, o que se traduz em maior rendimento no processo industrial. Segundo os autores, outra vantagem da espécie é sua resistência ao frio, que pode ser empregada como critério de seleção de *E. dunnii*, para determinadas regiões do País.

De acordo com Rocha *et al.* (2004), a madeira de folhosas normalmente apresenta distribuição dos elementos celulares bastante característica. As dimensões das fibras (comprimento, espessura e o lume) influenciam, diretamente, na densidade básica, determinando a massa de polpa para a produção de papel em um dado volume de madeira (Downes *et al.*, 1997)

Segundo Florsheim *et al.* (2000), além das fibras, outros elementos celulares devem ser estudados, como os vasos e parênquima axial e radial, por fornecerem informações importantes nas características superficiais dos papéis para impressão. Além disso, afetam a movimentação dos líquidos no processo de preservação da madeira e podem ter relação com sua resistência.

O objetivo do presente trabalho foi verificar a variação anatômica no sentido medula-casca e base topo de árvores de diferentes classes sociológicas de *Eucalyptus dunnii*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram amostradas árvores de *Eucalyptus dunnii* Maiden de povoamentos com sete anos de idade plantados no espaçamento 2,5 m x 2,5 m, implantados no município de Telêmaco Borba (PR), de propriedade da Klabin. Foram selecionadas três árvores por classe sociológica, divididas segundo Zobel & Buijtenen (1989) em dominante, intermediária e dominada.

De cada árvore, foram coletadas amostras na forma de discos (método destrutivo) nas posições base, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial. A partir dos discos de madeira foram retiradas amostras com 3 cm de largura, da medula até a casca e obtidos corpos-de-prova (2 cm x 1,5 cm x 2 cm) nos planos transversal, longitudinal tangencial e radial, respectivamente, na região a 0% (medula), a 50 e a 100% (próximo à casca) (FIGURAS 1 e 2).

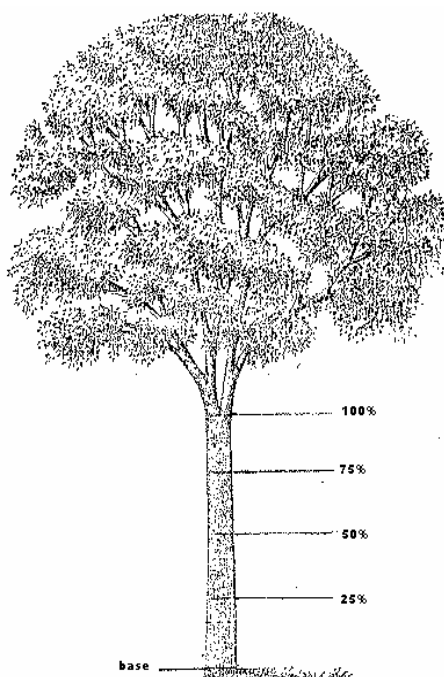


FIGURA 1 – Representação esquemática mostrando locais de retirada dos discos nas diferentes alturas.

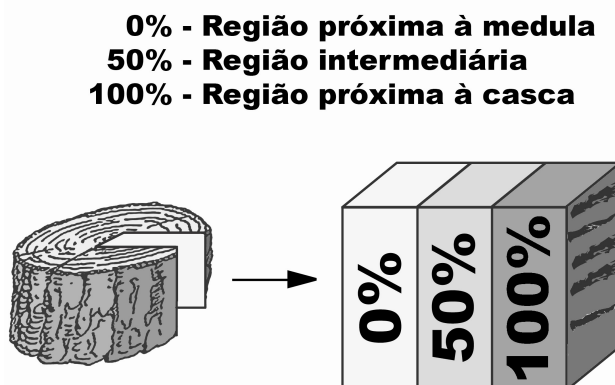


FIGURA 2 – Representação esquemática do local de retirada dos corpos-de-prova para a avaliação anatômica.

Os cortes histológicos dos corpos-de-prova nos três planos foram realizados em micrótomo de deslize e as lâminas histológicas montadas segundo Jeffrey *apud* Johansen (1940).

Foram retirados pequenos fragmentos de madeira de cada corpo-de-prova, dissociados segundo o método de Jeffrey *apud* Johansen (1940) e montadas lâminas provisórias, o que possibilitou a mensuração das dimensões dos elementos celulares, segundo a terminologia recomendada por IAWA (1989) e Comissão Panamericana de Normas Técnicas - COPANT (1974).

A dimensão dos elementos anatômicos foi obtida em equipamento de análise de imagens (microscópio trinocular com câmera e monitor de vídeo), utilizando-se o programa de análise de imagem "Image Pro-plus" para as medições. Obtidas as dimensões das fibras, foram calculados:

- Índice de Runkel (IR) = $2P/Lu$;
- Fração Parede (FP) = $(2P/D) \times 100$;
- Índice de Enfeltramento (EF) = $(C/D) \times 1000$, e
- Coeficiente de Flexibilidade (CF) = $(Lu/D) \times 100$,

em que:

- P: Espessura da parede (μm);
- Lu: Diâmetro do lume (μm);
- C: Comprimento da fibra (μm), e
- D: Diâmetro tangencial da fibra (μm).

Visando verificar as diferenças entre as dimensões dos elementos celulares com a classe sociológica, posição axial e radial, foi realizada análise de variância e teste de Tukey.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de variância para as dimensões das fibras, vasos e raios, estão apresentados nas TABELAS 1, 2 e 3, respectivamente. Para as fibras (TABELA 1), verificou-se que o comprimento variou em relação à classe sociológica, posição em altura e posição radial, com valores de F altamente significativos. Quanto às dimensões de diâmetro tangencial, variações altamente significativas foram observadas para classe sociológica e posição radial. A variação foi altamente significativa no lume das fibras para classe sociológica. A parede das fibras apresentou valor de F estatisticamente significativo somente em relação à altura na árvore.

Para as dimensões dos vasos (TABELA 2), verificou-se que os valores de F foram altamente significativos para classe sociológica, altura e posição radial, indicando que existem diferenças para comprimento dos vasos, diâmetro tangencial e frequência por mm^3 entre as variáveis estudadas.

TABELA 1 – Resultado do teste F na análise de variância para as dimensões das fibras de *E. dunnii* aos sete anos de idade.

Fonte de variação	Comprimento (μm)	Diâmetro Tangencial (μm)	Lume (μm)	Parede(μm)
	F	F	F	F
Classe sociológica	26,10**	17,45**	10,37**	6,93 ^{NS}
Altura na árvore	10,22**	3,38 ^{NS}	3,01 ^{NS}	5,78*
Posição radial	130,99**	12,25**	6,73 ^{NS}	4,97 ^{NS}
C. V. (%)	14,32	13,50	24,90	19,93

Em que: **: $p < 0,01$; *: $p < 0,05$; NS: não significativo; C.V.: coeficiente de variação.

TABELA 2 – Resultados do teste F da análise de variância para as dimensões dos vasos de *E. dunnii* aos sete anos de idade.

Fonte de variação	Comprimento (μm)	D. Tangencial (μm)	Frequência (n° vasos/ mm^2)
	F	F	F
Classe sociológica	18,56**	33,79**	16,36**
Altura na árvore	38,89**	21,23**	72,02**
Posição radial	107,80**	144,71**	140,44**
C.V. (%)	19,73	16,24	24,41

Em que: **: $p < 0,01$; *: $p < 0,05$; NS: não significativo; C.V.: coeficiente de variação.

FLORSHEIM, S. M. B. *et al.* Variação nas dimensões dos elementos anatômicos da madeira de *Eucalyptus dunnii* aos sete anos de idade.

A análise de variância para as dimensões dos raios (TABELA 3) apresentou valores de F altamente significativos para frequência dos raios/mm nas três variáveis estudadas. A largura dos raios em μm e em número de células variou apenas para classe sociológica e posição em altura (altamente significativo).

A altura dos raios em número de células indicou resultado altamente significativo para classe sociológica, e quanto à posição em altura na árvore e posição radial, a variação foi significativa. Os valores de altura dos raios em μm não apresentaram variações estatisticamente significativas em nenhuma das variáveis estudadas.

TABELA 3 – Resultados do teste F na análise de variância para as dimensões dos raios de *E. dunnii* aos sete anos de idade.

Fonte de variação	Altura	Altura	Largura	Largura	Frequência
	(μm)	(n° células)	(μm)	(n° células)	(raios/mm)
	F	F	F	F	F
Classe sociológica	3,22 ^{NS}	16,61**	11,11**	15,14**	54,39**
Altura na árvore	4,66 ^{NS}	5,79*	6,71**	13,75**	42,60**
Posição radial	7,42 ^{NS}	7,80*	1,41 ^{NS}	2,88 ^{NS}	296,00**
C.V. (%)	30,24	32,88	39,18	28,68	13,08

Em que: **: $p < 0,01$; *: $p < 0,05$; NS: não significativo; C.V.: coeficiente de variação.

3.1 Fibras

3.1.1 Posição sociológica

Analisando-se a TABELA 4, pode-se observar que a classe intermediária apresenta os maiores valores de comprimento das fibras,

diâmetro tangencial e lume, sendo que as duas primeiras variáveis diferem estatisticamente das outras classes. A classe dominada apresenta o maior valor de parede das fibras, mas não difere estatisticamente do valor encontrado para a classe intermediária. No entanto, o lume é menor e diferente, estatisticamente, das outras classes.

TABELA 4 – Resultado do teste de Tukey para as dimensões das fibras conforme a posição sociológica.

Classe Sociológica	Comprimento (μm)	Diâmetro Tangencial (μm)	Lume (μm)	Parede (μm)
Dominada	810,54 ^c	16,22 ^b	7,71 ^b	4,25 ^a
Intermediária	917,32 ^a	17,45 ^a	9,16 ^a	4,15 ^a
Dominante	848,02 ^b	16,63 ^b	8,83 ^a	3,90 ^b

Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade.

Florsheim *et al.* (2000) encontraram fibras mais longas e com lumes maiores na classe dominada, enquanto maiores diâmetros e paredes mais espessas foram observados na classe dominante. Rocha *et al.* (2004) observaram fibras mais longas e com paredes mais espessas na classe

dominante, já na classe intermediária ocorreram os maiores valores de diâmetro e lume das fibras. Como visto para diferentes espécies do gênero *Eucalyptus*, aos sete anos, quando se avaliam as classes sociológicas, há diferentes padrões de variabilidade para as dimensões das fibras.

A diferença para o comprimento das fibras deve ser levada em consideração, uma vez que, segundo Foelkel & Barrichelo (1975), esta característica influencia determinadamente na resistência dos papéis à tração, ao arrebentamento e ao rasgo. A resistência da celulose e papel tem uma altíssima relação com a espessura da parede da fibra. Segundo Paula (1999), fibras com paredes mais espessas possuem maior teor relativo de celulose do que fibras de paredes finas, desta forma existe uma correlação positiva entre a espessura da parede e o rendimento em produção de celulose.

Levando-se em consideração a afirmação de Shimoyama (1990), de que a espessura da parede e lume das fibras são os fatores que mais influenciam na densidade da madeira, pode-se considerar que a classe dominada tende a apresentar madeira mais densa.

Os valores dos índices de Runkel calculados entre as dimensões das fibras, relacionados com as classes sociológicas, mostram valores maiores de índice de Runkel e índice de enfeltramento para a classe dominante (TABELA 5).

TABELA 5 – Resultados dos índices calculados entre as dimensões das fibras com as classes sociológicas.

Relação	Classe sociológica		
	Dominada	Intermediária	Dominante
Índice de Runkel	1,10	0,91	0,88
Índice de Enfeltramento (%)	52,40	47,56	46,90
Fração Parede (%)	49,97	52,56	50,99
Coefficiente de Flexibilidade (%)	47,53	52,49	53,10

Considerando-se os valores do índice de Runkel, estes podem ser classificados como apropriados, uma vez que Runkel *apud* Paula (1999) propôs a seguinte classificação: fibra com índice até 0,25 é tida como excelente para papel; de 0,25 a 0,50 é muito boa; de 0,50 a 1,00 é boa; de 1,00 a 2,00 regular e, acima de 2,0 não deve ser usada para papel, tendo em vista tratar-se de fibra com paredes espessas ou muito espessas. Conforme Foelkel & Barrichelo (1975), o índice de Runkel se relaciona diretamente com as propriedades da celulose e do papel, e quando seu valor é menor do que a unidade a celulose é bem mais resistente, pois as fibras possuem maior capacidade de interligações.

Em relação à fração parede, as classes estudadas apresentaram valores que variaram de 46,90 a 52,40%, possibilitando a inferência de que a celulose produzida com essas madeiras será de qualidade inferior. Fração parede é um índice que influencia a qualidade da celulose e, de acordo com Foelkel & Barrichelo (1975), valores superiores a 40% não produzem celulose de boa qualidade, porque as fibras são extremamente rígidas, pouco flexíveis e com dificuldades nas interligações das mesmas. Essa relação mantém proporcionalidade positiva com a resistência ao rasgo e negativa com a resistência à tração, ao arrebentamento e com o peso específico. Segundo Brito *et al.* (1976), há uma correlação positiva

entre a fração parede e a resistência ao rasgo. Há controvérsias com relação a resistência à tração.

A classe dominante apresentou maior valor de coeficiente de flexibilidade. Segundo Foelkel & Barrichelo (1975), os maiores valores desse coeficiente caracterizam as fibras mais flexíveis, facilitando as ligações entre as mesmas. O coeficiente de flexibilidade relaciona-se positivamente com a resistência à tração, arrebentamento. Brito *et al.* (1976) acrescentam que maiores valores de coeficiente de flexibilidade refletem em maior massa específica da folha.

3.1.2 Posição em altura

As dimensões das fibras variaram de maneira diferente em relação à posição em altura do tronco das árvores estudadas (TABELA 6). Pode-se constatar que os maiores valores de comprimento e diâmetro tangencial das fibras foram observados a 50% da altura comercial e só diferem estatisticamente do menor valor verificado a 100% da altura comercial. Para o lume, o maior valor foi a 25% da altura comercial e difere estatisticamente do menor valor a 100% da altura comercial. O maior valor de parede das fibras foi detectado na base e não difere estatisticamente do valor encontrado a 50% da altura comercial; o menor valor foi a 25% da altura comercial.

TABELA 6 – Resultados do teste de Tukey para as dimensões das fibras de *Eucalyptus dunnii* aos sete anos de idade conforme a posição em altura.

Altura (%)	Comprimento (µm)	Diâmetro Tangencial (µm)	Lume (µm)	Parede (µm)
0 (base)	857,44 ^b	17,05 ^a	8,38 ^{ab}	4,33 ^a
25	849,05 ^b	16,92 ^a	9,17 ^a	3,87 ^c
50	915,80 ^a	17,13 ^a	8,54 ^{ab}	4,30 ^{ab}
75	853,67 ^b	16,39 ^{ab}	8,46 ^{ab}	3,96 ^{bc}
100	786,15 ^c	15,94 ^b	8,02 ^b	3,95 ^{bc}

Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade.

Para *E. grandis*, Taylor (1973) detectou pequena variabilidade no comprimento das fibras na altura central das árvores. Bhat *et al.* (1990) avaliaram o comprimento das fibras a 0, 25, 50 e 75% da altura comercial em árvores com três, cinco, sete e nove anos. Segundo esses autores, o comprimento das fibras aumentou conforme a idade. Quanto à variação em altura do tronco, houve um pequeno aumento do comprimento das fibras a 25% da altura, que decresceu, posteriormente, até o topo das árvores.

Florsheim *et al.* (2000) observaram fibras mais longas a 25 e 75% da altura, maiores diâmetros também ocorreram a 25%, o lume e a parede não mostraram variação consistente. Rocha *et al.* (2004) encontraram fibras mais longas entre 25 e 50% da altura, os menores diâmetros ocorreram no topo, os maiores lumes ocorreram até 75% da altura, a espessura da parede não variou estatisticamente.

Urbinati *et al.* (2003), estudando *Terminalia ivorensis*, observaram aumento no comprimento das fibras no sentido do topo, enquanto o lume e a espessura da parede das células não apresentaram diferenças. Os autores sugerem que variações encontradas no sentido axial podem ser interpretadas como reflexo das diferentes idades do câmbio ao longo da altura do tronco. Quilhó *et al.* (2006) encontraram pouca

variação nas dimensões das fibras no sentido axial em híbridos de *E. grandis* com *E. urophylla*. Resultados similares foram relatados por Wilkes (1988) ao estudar a variação anatômica em espécies de eucalipto, para as quais a variação no sentido axial foi menor do que a radial.

Segundo Zobel & Buijtenen (1989) as mudanças no comprimento das fibras variam entre espécies, no entanto, o mais comum é observar fibras mais longas na base das árvores, esta variação pode ser explicada pelo aumento na proporção de lenho juvenil no sentido do topo.

Para *E. dunnii* foi observado decréscimo no comprimento das fibras em direção ao topo. Portanto, se o objetivo é obter fibras mais longas a altura mais indicada para encontrá-las é de 50%.

Na TABELA 7 estão representadas as relações entre as dimensões das fibras e as posições em altura estudadas.

Os maiores valores do índice de Runkel e fração parede foram observados na posição mais baixa do tronco. Esses dados discordam com aqueles encontrados por Shimoyama (1990) para o índice de Runkel. Entretanto, os valores encontrados pela autora para várias espécies do gênero *Eucalyptus*, para índice de enfiamento, foram ligeiramente superiores a 25% e nessa espécie foram a 50% da altura comercial.

TABELA 7 – Resultados dos índices calculados entre as dimensões das fibras e as posições em altura.

Relação	Altura (%)				
	0	25	50	75	100
Índice de Runkel	1,03	0,84	1,00	0,94	0,98
Fração Parede (%)	50,79	45,74	50,20	45,03	49,56
Índice de Enfiamento (%)	50,28	50,18	53,46	52,08	49,31
Coef. de Flexibilidade (%)	49,14	54,19	49,85	51,61	50,31

3.1.3 Posição radial

As dimensões das fibras em relação ao posicionamento na direção radial do tronco são crescentes no sentido da medula para a casca, com diferenças estatisticamente significativas para todas as características avaliadas (TABELA 8).

Ao longo dos anos, para espécies diferentes, vários autores detectaram fibras mais longas na região próxima da casca (Bamber & Humphrey, 1963; Brasil & Ferreira, 1972; Malan & Gericher, 1987; Butterfield, 1993; Vital & Della Lucia, 1987; Bhat *et al.*, 1990; Shimoyama, 1990; Baptista *et al.*, 2003; Quilhó *et al.*, 2006). Urbinati *et al.*, (2003) encontraram redução no comprimento das células próximas à casca.

Para todas as características das fibras, Rocha *et al.* (2004) observaram resultados semelhantes para *E. grandis*, ou seja, aumento da medula para a casca. Para Florsheim *et al.* (2000), com exceção do lume das fibras que foi maior na medula, todas as outras características apresentaram seus valores máximos na região da casca.

De acordo com Downes *et al.* (1997), as dimensões das fibras interferem diretamente na densidade da madeira influenciando a massa da polpa na produção de papel. Assim, fibras maiores e com paredes mais espessas podem indicar madeiras com maior densidade, embora esta propriedade também possa ser influenciada pela frequência, diâmetro dos vasos e volume dos raios (Fujiwara *et al.*, 1991; Fujiwara, 1992).

TABELA 8 – Resultados do teste de Tukey para as dimensões das fibras de *Eucalyptus dunnii* aos sete anos de idade conforme a variação radial.

Posição Radial	Comprimento (μm)	Diâmetro Tangencial (μm)	Lume (μm)	Parede (μm)
Medula	740,92 ^c	16,15 ^b	8,04 ^b	3,98 ^b
Intermediária	873,26 ^b	16,68 ^b	8,72 ^a	4,05 ^b
Casca	993,85 ^a	17,68 ^a	9,02 ^a	4,32 ^a

Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade.

3.2 Vasos

3.2.1 Classe sociológica

O comprimento dos vasos mostrou valor máximo na classe intermediária, que não diferiu estatisticamente da classe dominante. O diâmetro tangencial dos vasos apresentou um gradiente aumentando estatisticamente da medula para a casca quando se consideram as classes sociológicas (TABELA 9). A frequência dos vasos foi menor na classe dominante, e estatisticamente diferente das demais classes.

De acordo com alguns autores, maiores diâmetros tangenciais dos vasos normalmente estão

associados a menores frequências (Bamber *et al.*, 1982; Vital & Della Lucia, 1987). Esse padrão foi notado por Florsheim *et al.* (2000), em que a classe dominante apresentou maiores diâmetros e frequências mais baixas, acompanhados de vasos mais curtos. Os resultados aqui encontrados para as classes sociológicas não corroboram essa afirmação, podendo-se observar que a classe intermediária, embora não seja estatisticamente diferente da classe dominante com maior diâmetro dos vasos, apresentou a maior frequência dessas células entre as classes analisadas. Rocha *et al.* (2004) encontraram maiores diâmetros na classe dominante e menores frequências na classe intermediária.

TABELA 9 – Resultado do teste de Tukey para as dimensões e frequência dos vasos de *Eucalyptus dunnii* aos sete anos de idade conforme a posição sociológica.

Classe sociológica	Comprimento (μm)	Diâmetro tangencial (μm)	Frequência (vasos/ mm^2)
Dominada	420,11 ^b	94,09 ^c	13,32 ^a
Intermediária	485,35 ^a	103,83 ^b	13,58 ^a
Dominante	463,39 ^a	110,68 ^a	11,55 ^b

Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade.

3.2.2 Posição em altura

Observando-se a TABELA 10, pode-se constatar que o comprimento dos vasos aumentou da base até a 50% da altura comercial, diferindo estatisticamente das outras posições, após esta região o comprimento diminuiu até o topo (100%), onde apresentou valores estatisticamente iguais a 25% da altura, os menores valores foram observados na base.

Os diâmetros tangenciais foram maiores e sem diferenças estatísticas entre as posições 25 – 75%. O maior valor foi observado a 75% e o menor no topo, este, entretanto, não apresentou diferença estatisticamente significativa com o valor observado na base (TABELA 10). A frequência de vasos foi maior a 100% da altura comercial, onde foram registrados os menores valores de diâmetro tangencial.

TABELA 10 – Resultado do teste de Tukey para as dimensões dos vasos de *Eucalyptus dunnii* aos sete anos de idade conforme a posição em altura.

Altura (%)	Comprimento (μm)	Diâmetro tangencial (μm)	Frequência (vasos/ mm^2)
0 (base)	384,31 ^d	93,78 ^b	9,78 ^d
25	427,05 ^c	107,63 ^a	11,72 ^c
50	539,94 ^a	108,27 ^a	12,89 ^{bc}
75	482,75 ^b	109,35 ^a	13,51 ^b
100	442,47 ^c	88,76 ^b	19,10 ^a

Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade.

Downes *et al.* (1997) reportou correlações significativas e positivas entre o diâmetro dos vasos e a altura da árvore, DAP, volume e comprimento da fibra. Florsheim *et al.* (2000) verificaram, embora sem diferença estatística, vasos mais curtos na base, o diâmetro foi maior entre 25 a 75% da altura e a frequência mostrou um gradiente, sendo maior no topo. Rocha *et al.* (2004) observaram vasos mais longos a 25% da altura comercial, decrescendo até o topo, onde foram registrados os

menores valores; o diâmetro foi menor na base e as maiores frequências ocorreram na base e no topo.

3.2.3 Posição radial

Na posição radial os valores de comprimento e diâmetro tangencial dos vasos foram crescentes da medula para a casca e se observou tendência inversa para frequência de vasos por mm^2 . Todas as dimensões apresentaram diferenças estatisticamente significativas (TABELA 11).

TABELA 11 – Resultado do teste de Tukey para as dimensões dos vasos de *Eucalyptus dunnii* aos sete anos de idade conforme a posição radial.

Posição radial	Comprimento (μm)	Diâmetro tangencial (μm)	Frequência (vasos/ mm^2)
Medula	381,62 ^c	86,59 ^c	16,68 ^a
Intermediária	467,76 ^b	103,60 ^b	11,34 ^b
Casca	539,80 ^a	123,32 ^a	9,46 ^c

Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade.

Vital & Della Lucia (1987) observaram em *E. grandis* e *E. urophylla*, Florsheim *et al.* (2000) em *E. saligna* e Rocha *et al.* (2004) em *E. grandis* aumento no diâmetro e comprimento dos vasos no sentido medula-casca. A tendência em relacionar vasos de maior diâmetro com menores frequências, não observada para as classes sociológicas e variação axial, mostrou-se evidente para a variação radial; Baptista *et al.* (2003), ao caracterizarem a

madeira de híbridos de *E. grandis*, verificaram que o modelo de variação medula-casca mais comum se caracteriza pelo aumento do diâmetro dos vasos e redução da frequência. Resultados similares também foram encontrados para outras espécies por Bamber & Humphrey (1963); Brasil & Ferreira (1972); Malan & Gericher (1987); Bhat *et al.* (1990); Shimoyama (1990); Florsheim *et al.* (2000); Rocha *et al.* (2004) e Urbinati *et al.* (2003).

3.3 Raios

3.3.1 Posição sociológica

A TABELA 12 apresenta as dimensões dos raios relacionadas com as classes sociológicas estudadas. Na classe intermediária foram encontrados os maiores valores para altura (em μm e em número de células) e na classe dominante os maiores valores de largura (em μm e em número de células) e frequência por milímetro, todos com diferenças estatisticamente significativas entre as outras classes sociológicas.

Florsheim *et al.* (2000) observaram nas árvores da classe dominante raios com os maiores valores de altura, largura e frequência. Rocha *et al.* (2004) descrevem para a classe dominante, os maiores valores para altura (em μm e em número de células) e largura em (μm), todos eles com diferenças estatisticamente significativas entre as outras classes sociológicas. Já a largura em número de células e frequência por milímetro foram maiores na classe dominada. Como visto, para os raios, não é possível estabelecer um padrão entre as diferentes espécies de eucalipto.

TABELA 12 – Resultado do teste de Tukey para dimensões e frequência dos raios de *Eucalyptus dunnii* aos sete anos de idade conforme a posição sociológica.

Classe Sociológica	Altura (μm)	Altura (nº células)	Largura (μm)	Largura (nº células)	Frequência (raios/mm)
Dominada	250,65 ^{ab}	14,83 ^a	16,56 ^b	1,14 ^b	11,28 ^b
Intermediária	260,89 ^a	15,66 ^a	15,08 ^b	1,08 ^b	10,53 ^c
Dominante	237,20 ^b	13,00 ^b	18,91 ^a	1,30 ^a	12,45 ^a

Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade.

3.3.2 Posição em altura

As dimensões do parênquima radial, relacionadas com a posição em altura, estão apresentadas na TABELA 13. Os maiores valores de altura (em μm e em número de células) foram verificados a 50% da altura comercial. A largura dos raios (em μm e em número de células) e a frequência dos raios por milímetro apresentaram seus maiores valores na região da base com diferenças estatísticas significativas.

Florsheim *et al.* (2000) observaram os maiores valores das dimensões dos raios na base. Rocha *et al.* (2004) mencionam a presença de raios mais altos e menos frequentes a 50% da altura, a largura dos raios foi maior na base. Urbinati *et al.* (2003) não observaram variação na frequência dos raios no sentido axial, os maiores valores em altura, embora não diferentes estatisticamente, foram encontrados no centro do tronco, sendo os raios mais baixos na base.

TABELA 13 – Resultado do teste de Tukey para dimensões e frequência dos raios de *Eucalyptus dunnii* aos sete anos de idade conforme a posição em altura.

Posição em altura (%)	Altura (μm)	Altura (células)	Largura (μm)	Largura (células)	Frequência (raios/mm)
0	243,55 ^{ab}	14,42 ^a	19,65 ^a	1,40 ^a	13,15 ^a
25	249,48 ^{ab}	14,41 ^a	16,49 ^{bc}	1,14 ^b	11,05 ^{bc}
50	271,57 ^a	15,97 ^a	16,17 ^{bc}	1,09 ^b	10,50 ^c
75	251,58 ^{ab}	14,47 ^a	16,86 ^{bc}	1,12 ^b	11,02 ^{bc}
100	218,03 ^b	12,24 ^b	13,61 ^c	1,04 ^b	11,20 ^b

Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade.

3.3.3 Posição radial

Com relação aos valores das dimensões dos raios, relacionados com a posição radial, percebe-se que a altura dos raios em (μm) apresentou valores crescentes da medula para a casca e decrescentes, neste mesmo sentido, para altura em número de células, com diferenças estatísticas significantes somente entre os valores encontrados na região da casca nas duas variáveis (TABELA 14). A largura (em μm e em número de células) apresentou os maiores valores na região da medula, embora não tenha sido observada diferença estatística. A frequência dos raios por milímetro

diminuiu no sentido da casca e seus valores apresentaram diferenças estatísticas significantes.

Florsheim *et al.* (2000) notaram uma tendência dos raios em ficar mais altos e largos da medula para a casca, com menores frequências. Rocha *et al.* (2004) identificaram maiores dimensões e frequência dos raios na região da medula. Urbinati *et al.* (2003) não encontraram variação na altura dos raios no sentido radial. No entanto, a frequência foi menor na região da casca, ou autores sugerem que a variação na frequência de raios, pode ser consequência da redução das iniciais radiais no câmbio, que passa a ter mais iniciais fusiformes, o que aumentaria a proporção de fibras nessa região.

TABELA 14 – Resultado do teste de Tukey para as dimensões dos raios de *Eucalyptus dunnii* aos sete anos de idade conforme a posição radial.

Posição radial	Altura (μm)	Altura (células)	Largura (μm)	Largura (células)	Frequência (raios/mm)
Medula	231,16 ^b	15,07 ^a	17,28 ^a	1,21 ^a	13,48 ^a
Intermediária	250,75 ^b	14,81 ^a	16,10 ^a	1,13 ^a	10,90 ^b
Casca	273,30 ^a	13,33 ^b	17,18 ^a	1,17 ^a	9,25 ^c

Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade.

4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que:

- das classes sociológicas estudadas, a intermediária foi aquela que apresentou maiores valores de comprimento, diâmetro e lume de fibras; comprimento, diâmetro tangencial e frequência de vasos e raios mais altos. A classe dominada apresentou as fibras mais espessas e os menores valores de comprimento e diâmetro tangencial de vasos. Na classe dominante foram observados os menores valores de frequência de vasos e os maiores de largura e frequência de raios. A fração parede constatada pode ser caracterizada como produtora de celulose de baixa qualidade em relação ao rasgo e pouca resistência à tração do papel;
- na avaliação axial (base – topo das árvores) observou-se: a 50% da altura comercial verificaram-se fibras mais longas e de maior

diâmetro tangencial e maior comprimento de elementos de vaso; a 75% da altura comercial ocorreram vasos de maiores diâmetros; já a 100% da altura comercial observaram-se fibras mais curtas e com menores diâmetros e lumens, além de maior frequência de vasos. Os raios mais altos e mais largos foram encontrados a 50%, os mais frequentes na base; maiores valores de índice de Runkel e fração parede foram observados nas posições mais baixas do tronco;

- na avaliação radial (medula – casca) observou-se: todas as dimensões das fibras apresentaram tendência crescente neste sentido; os vasos apresentaram tendência crescente para comprimento e diâmetro tangencial e decrescente para frequência; os maiores valores da altura dos raios foram crescentes e mais largos próximos à medula e a frequência apresentou tendência decrescente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAMBER, R. K.; HORNE, R.; GRAHAN-HIGGS, A. Effect of fast growth on the wood properties of *Eucalyptus grandis*. **Australian Forest Research**, Melbourne, n. 12, p. 163-167, 1982.
- _____.; HUMPHREY, F. R. A. A preliminary study of some wood properties of *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden. **Journal of the Institute of Wood Science**, Buckinghamshire, v. 11, n. 1, p. 66-70, 1963.
- BHAT, K. M.; BHAT, K. V.; DHAMODARAN, T. K. Wood density and fibre length of *Eucalyptus grandis* grown in Kerala, India. **Wood and Fibre Science**, Kansas, v. 22, n. 1, p. 54-61, 1990.
- BRASIL, M. A. M.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm., *E. alba* Reinw e *E. grandis* Hill ex Maiden aos 5 anos de idade, em função do local e do espaçamento. **IPEF**, Piracicaba, n. 5, p. 81-90, 1971.
- BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G.; FERREIRA, M. O melhoramento dos caracteres da madeira frente a produção de celulose e papel. **IPEF Boletim Informativo**, Piracicaba, v. 6, n. 19, p. 96-115, 1976.
- BUTTERFIELD, R. P. *et al.* Radial variation in wood specific gravity, fibre length and vessel area for two Central American hardwoods: *Hyeronima alchorneoides* and *Vochysia guatemalensis*: natural and plantation-grown trees. **IAWA Journal**, Leiden, v. 14, n. 2, p. 153-161, 1993.
- CALORI, J. V.; KIKUTI, P. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus dunnii* aos 20 anos de idade. In: EUCALYPTS: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, 1997, Salvador. Colombo: EMBRAPA, 1997. p. 321-326.
- CARPIM, M. A.; BARRICHELO, L. E. Variabilidade da densidade de madeira de *Eucalyptus* spp. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CELULOSE E PAPEL, 3., 1983, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABCP, 1983. p. 127-137.
- COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS - COPANT. **Madeiras, descrição macroscópica, microscópica e geral da madeira; angiosperma, dicotiledôneas**. Rio de Janeiro, 1974. 15 p.
- DOWNES, G. M. *et al.* **Sampling plantation eucalypts for wood and fibre properties**. Australia: CSIRO Publishing, 1997. 132 p.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Eucalyptus for planting**. Roma, 1979. 677 p.
- FLORSHEIM, S. M. B. *et al.* Variação da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus saligna* aos 7 anos. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 12, n. 2, p. 179-191, 2000.
- FOELKEL, C. E.; BARRICHELO, L. E. G. **Tecnologia de celulose e papel**. Piracicaba: USP: ESALQ: CALQ, 1975. p. 207.
- FUJIWARA, S. Anatomy and properties of Japanese hardwoods II. Variation of dimensions of ray cells and their relation to basic density. **IAWA Bull.**, Leiden. n.s. 13, p. 397-402, 1992.
- _____. *et al.* Anatomy and properties of Japanese hardwoods I. Variation of dimensions of ray cells and their relation to basic density. **IAWA Bull.**, Leiden, n.s. 12, p. 419-424, 1991.
- IAWA COMMITTEE. List of microscope features for hardwood identification. **IAWA Bull.**, Leiden, v. 10, n. 3, p. 221-259, 1989.
- IWAKIRI, S. *et al.* Utilização de madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* para produção de painéis de partículas orientadas – OSB. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 2, p. 265-270, 2008.
- JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York: McGraw-Hill, 1940. 523 p.
- MALAN, F. S.; GERISCHER, G. E. R. Wood property differences in South African grown *Eucalyptus grandis* trees of different growth stress intensity. **Holzforrschung**, Berlin, v. 41, p. 331-335, 1987.
- MONTEIRO, R. F. R. Comportamento ao frio de espécies/procedências de *Eucalyptus* na Klabin do Paraná, localizada em Telêmaco Borba. **O Papel**, São Paulo, v. 51, p. 53-65, 1990.
- PAULA, J. E. Caracterização anatômica de madeiras nativas do Cerrado com vistas à produção de energia. **Revista Cerne**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 26-40, 1999.

FLORSHEIM, S. M. B. *et al.* Variação nas dimensões dos elementos anatômicos da madeira de *Eucalyptus dunnii* aos sete anos de idade.

PEREIRA, J. C. D. *et al.* **Características da madeira de algumas espécies de eucaliptos plantadas no Brasil.** Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113 p. (Embrapa Florestas, Documento, 38).

QUILHÓ, T.; MIRANDA, I.; PEREIRA, H. Within-tree variation in wood fibre biometry and basic density of the urograndis eucalypt hybrid (*Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*). **IAWA J.**, Leiden, v. 27, n. 3, p. 243-254, 2006.

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. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 43-55, 2004.

ROCHA, M. P. *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de matéria-prima para serrarias. 2000. 185 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Madeira) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SCHNEIDER, P. R. *et al.* Equações de volume para *Eucalyptus dunnii* Maiden, determinadas para a depressão central do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 27, n. 3, p. 425-228, 1997.

SHIMOYAMA, V. R. S. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* spp.** 1990. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

TAYLOR, F. W. Anatomical wood properties of South African *Eucalyptus grandis*. **South African Forestry Journal**, Pretoria, n. 84, p. 20-24, 1973.

TAYLOR, F. W. Difference in the wood of *Eucalyptus grandis* grown in different parts of South Africa. In: IUFRO CONGRESS, 1973, Johannesburg. Johannesburg: IUFRO, 1973. p. 1021-6.

TISCHLER, K. **Improvement of *Eucalyptus camaldulensis* wood.** 1976. 125 f. PhD. Thesis - Hebrew University of Jerusalem, Jerusalem.

TRUGILHO, P. F. **Tensão de crescimento em árvores vivas de clones de *Eucalyptus* spp e de *Eucalyptus dunnii* Maiden e propriedades da sua madeira.** 2005. 167 f. Tese (Pós-doutorado em Engenharia Florestal) - Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

URBINATI, C. V. *et al.* Variação estrutural quantitativa no lenho de *Terminalia ivorensis* A. Chev., Combretaceae. **Acta bot. bras.**, São Paulo, v. 17, n. 3, p. 421-437, 2003.

VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M. Effect of tree spacing on wood production and wood quality of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus urophylla* at 52 months. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 11, p. 132-145, 1987.

WILKES, J. Variations of wood anatomy within species of *Eucalyptus*. **IAWA Bulletin**, Leiden, n. 9, p. 13-23, 1988.

ZOBEL, B. J.; BUIJTENEN, J. P. van. **Wood variation: its causes and control.** Berlin: Springer Verlag, 1989. 363 p. (Spring Series in Wood Science).