



## Dimensões das fibras de *Eucalyptus grandis* em diferentes estratos e posição radial

Rômulo Trevisan<sup>1</sup>, Luana Candaten<sup>1\*</sup>, Henrique Weber Dalla Costa<sup>1</sup>, Eduarda Bandeira<sup>1</sup>, Tauana de Souza Mangini<sup>1</sup>,  
Laura da Silva Zanchetta<sup>1</sup>, Elder Eloy<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Engenharia Florestal, Campus Frederico Westphalen, CEP 98400-000, Frederico Westphalen, RS, Brasil

### \*Autor correspondente:

luana\_candaten@outlook.com

### Termos para indexação:

Anatomia da madeira  
Classes de árvores  
Qualidade da madeira

### Index terms:

Wood anatomy  
Trees classes  
Wood quality

### Histórico do artigo:

Recebido em 23/02/2022  
Aprovado em 16/07/2024  
Publicado em 31/07/2024

**Resumo** - O objetivo do presente trabalho foi avaliar as dimensões das fibras de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden em diferentes estratos e posição radial. A dissociação do tecido lenhoso foi realizada pelo método de peróxido de hidrogênio e ácido acético. Houve acréscimo no sentido medula-casca para todos os parâmetros anatômicos estudados, sendo que as árvores do extrato dominante apresentaram médias maiores e as centrais, valores inferiores. As dimensões dos caracteres anatômicos sentido medula-casca apresentaram variações, mas as árvores dos diferentes estratos não apresentaram distinções nítidas dos parâmetros de dimensões das fibras avaliados.

## Dimensions of *Eucalyptus grandis* fibers in different strata and radial position

**Abstract** - The objective of the present work was to evaluate the dimensions of *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden fibers in different strata and radial position. The dissociation of the woody tissue was performed by the hydrogen peroxide and acetic acid method. There was an increase in the pith-bark direction for all anatomical parameters studied, for the dominant (higher averages) and central trees (lower values). The dimensions of the anatomical characters in the pith-bark direction were altered, but the different strata did not provide clear distinctions in the measurements in the evaluate parameters of fiber dimensions.



O gênero *Eucalyptus* tem se destacado há décadas nos mais variados setores industriais, por apresentar características de rápido crescimento, adaptação e produtividade, as quais são intrínsecas aos materiais ou advindas do contínuo programa de melhoramento genético. Entretanto, para que a madeira seja amplamente utilizada e o mercado siga em ascensão, a caracterização da qualidade do material é necessária, sendo possível pelo conhecimento e análise da estrutura anatômica, bem como de suas variações.

Dessa forma, tão importante quanto a avaliação da heterogeneidade nos elementos anatômicos entre indivíduos é o diagnóstico da variabilidade na árvore (Zanuncio et al., 2018; De Jesus & Silva, 2020; Marini et al., 2020), tanto no sentido medula-casca quanto ao longo do fuste. Existem diferenças na madeira entre a região do cerne e alburno, início e fim de estação de crescimento, nos lenhos juvenil e adulto, bem como entre células (Ferro et al., 2015). Nos lenhos juvenil e adulto, as diferenças microscópicas são expressas,

além de outras características, por distintas dimensões de células. O comprimento, diâmetro total, espessura da parede e diâmetro do lume das fibras em *Eucalyptus* indicam diferentes estágios de desenvolvimento e estão associados aos processos fisiológicos distintos do material (Sette Júnior et al., 2012; De Jesus & Silva, 2020), os quais não devem ser ignorados.

Entre as diferenças existentes nas características anatômicas da árvore, a variação radial pode ser observada, fundamentalmente, em função da presença do lenho juvenil, o qual se caracteriza por apresentar menores valores de massa específica, proporção do lenho tardio, resistência mecânica em relação à madeira adulta, contração transversal e fibras mais curtas, assim como maior contração longitudinal e ângulo das microfibrilas (Trevisan et al., 2017; De Jesus & Silva, 2020).

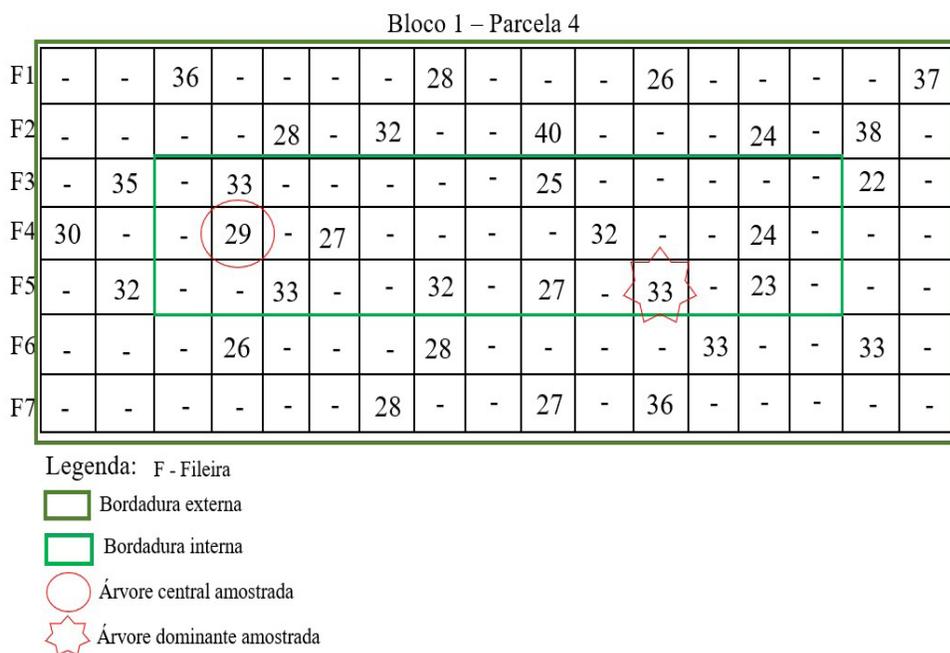
Aliado a esses quesitos, para aprimorar o conhecimento do material, a análise da influência das diferentes classes sociológicas do povoamento na anatomia da madeira é imprescindível (Macedo et al., 2019), uma vez que os estratos centrais formam o subdossel da floresta e são compostos por árvores de menores dimensões; e os dominantes representam indivíduos com copas bem desenvolvidas e com alta exposição à luz (Sanquetta et al., 2011; Weber et al., 2013; Costa et al., 2020).

Dessa forma, levando em consideração a demanda existente por informações sobre a influência do dossel

e da variabilidade no sentido medula-casca na estrutura anatômica da madeira, o presente trabalho teve por objetivo avaliar as dimensões das fibras de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden em diferentes estratos e posição radial.

Para a execução das análises, foram utilizados clones de *E. grandis* provenientes de um povoamento experimental (50°30' W e 30°08' S), pertencente à Empresa Flosul Indústria e Comércio de Madeiras Ltda. As árvores coletadas tinham 18 anos de idade, espaçamento de 3,0 x 1,7 m, em talhão não submetido a tratamentos silviculturais.

Com os dados provenientes do inventário florestal, foi elaborado um croqui das árvores vivas e a seleção das mesmas foi realizada com base no diâmetro à altura de 1,30 m (DAP) (Figura 1). Para a escolha da árvore dominante, empregou-se o conceito de Assmann, no qual, em um hectare, as 100 árvores de maior diâmetro são mensuradas. Dessa forma, utilizando regra de três simples e considerando a área do povoamento, foi determinado o número de árvores dominantes e, em seguida, calculada a árvore dominante média a ser amostrada ( $d_{100}$ ). A seleção da árvore central (dz), procedeu-se da forma tradicional, eliminando o menor e o maior indivíduo, alternadamente, até chegar à dz e, no caso de restarem duas árvores ao final, a escolha foi realizada por sorteio.



**Figura 1.** Croqui para seleção e localização das árvores-amostra.

**Figure 1.** Sketch for selection and location of the sample trees.

Após o mapeamento e corte das árvores, a amostragem para o estudo das dimensões das fibras no sentido medula-casca foi realizada à altura do DAP da árvore dominante média ( $d_{100}$ ) e da central ( $d_2$ ), totalizando oito exemplares para cada posição. Assim, dos discos selecionados, foram marcadas, mensuradas e seccionadas baguetas centrais (contendo medula) de 2 cm de largura, as quais foram novamente fragmentadas em intervalos regulares de 3 cm no sentido radial e dessas retiradas lascas de madeira que foram colocadas em tubos de ensaio numerados para o processo de maceração.

A dissociação do tecido lenhoso foi realizada pelo método de peróxido de hidrogênio e ácido acético, conforme descrito por Kraus & Arduin (1997) e a coloração das fibras em solução aquosa de safranina 1%, durante 30 min. Em seguida, foi efetuada, para cada fragmento amostrado, a montagem de três lâminas semi-permanentes, utilizadas para a mensuração de 30 leituras das dimensões de comprimento, espessura da parede, diâmetro total e diâmetro do lume das fibras em microscópio, conforme as normas sugeridas em IAWA (Wheeler et al., 1989).

Os dados amostrados, por posição relativa no sentido medula-casca, foram submetidos à análise de regressão, processados pelo pacote “*Statistical Analysis System*” (SAS Institute, 2003), em que foi, primeiramente, aplicado o procedimento *Stepwise* de modelagem de regressão. O modelo foi definido pela Equação 1.

$$Cf; Ep; Dt; Dl = f \left( P; \frac{1}{P}; P^2; \frac{1}{P^2}; \ln P; \frac{1}{\ln P}; \sqrt{P} \right) \quad (1)$$

Onde: Cf = comprimento de fibra,  $\mu\text{m}$ ; Ep = espessura da parede das fibras,  $\mu\text{m}$ ; Dt = diâmetro total das fibras,  $\mu\text{m}$ ; Dl = diâmetro do lume das fibras,  $\mu\text{m}$ ; P = posição relativa (sentido medula-casca), %.

O melhor modelo para estimar a variação radial de cada um dos elementos anatômicos estudados, nos estratos dominantes e centrais, foi selecionado com base no coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj.}$ ), erro padrão da estimativa ( $S_{xy}$ ), valor de F calculado e análise da distribuição dos resíduos.

Os modelos selecionados para descrever a variação radial das dimensões das fibras no estrato dominante e central, bem como os coeficientes e as estatísticas relacionadas, estão descritos na Tabela 1. Apesar dos valores do coeficiente de determinação terem se

mostrado baixos, esses modelos foram os selecionados de acordo com os demais parâmetros estatísticos com o comportamento adequado para seleção dos mesmos, indicando a confiabilidade da seleção dos modelos para as características anatômicas e influência na qualidade da madeira.

Com base na equação ajustada, os valores de comprimento das fibras no sentido medula-casca, tanto para as árvores dominantes (Figura 2IA), com média de 1.144,5  $\mu\text{m}$ , quanto para as centrais (Figura 2IB), com média igual a 1.090,7  $\mu\text{m}$ , apresentaram uma tendência crescente em direção à região mais periférica do tronco. O diâmetro total e do lume, bem como a espessura da parede tiveram comportamentos semelhantes crescentes da medula em direção à casca da árvore, porém de maneira menos acentuada, quando comparado ao comprimento de fibras.

A média geral para o diâmetro das fibras apresentou um valor de 23,55  $\mu\text{m}$ , variando de 12,5 a 35  $\mu\text{m}$ , da medula para a casca. A espessura da parede das fibras apresentou variação radial com valores médios significativamente diferentes e aumentando em direção a casca com média de 4,67  $\mu\text{m}$ , para a estrutura dominante, e 4,64  $\mu\text{m}$  para a central (Figura 2IVA e 2IVB).

A tendência crescente do comprimento das fibras no sentido axial também foi observada por Baldin et al. (2015) para *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. Trevisan et al. (2013), também observaram variação crescente e valores semelhantes em *E. grandis*, onde o estrato dominante apresentou média geral de 1.173,0  $\mu\text{m}$  e o central de 1.124,0  $\mu\text{m}$ . Tal comportamento, provavelmente, ocorre pela diferenciação já existente entre lenhos juvenil e adulto no fuste das árvores.

O diâmetro da fibra (Figura 2IIA e 2IIB) apresentou um pequeno acréscimo, em ambos estratos na direção à casca, corroborando relatos de Sette Junior et al. (2012), para *E. grandis*, que observaram valor próximo à medula de 16,20  $\mu\text{m}$  e em direção à casca de aproximadamente 17,00  $\mu\text{m}$ . Barreiros et al. (2016) apresentaram resultados semelhantes ao observado no presente estudo, com variação de 14,06  $\mu\text{m}$  a 31,04  $\mu\text{m}$  para *Calophyllum brasiliense* Cambess.

Ainda, as alterações nos valores do diâmetro das fibras, sob o aspecto fisiológico, estão relacionados ao processo de crescimento das árvores e às necessidades de transporte de água e sais minerais, resultando, conseqüentemente, no aumento de suas dimensões

**Tabela 1.** Modelos selecionados para estimar a variação radial das dimensões das fibras no estrato dominante e central de *Eucalyptus grandis*, aos 18 anos de idade.

**Table 1.** Models selected to estimate the radial variation of fiber dimensions in the dominant and central stratum of *Eucalyptus grandis*, at 18 years of age.

Estrato	Variável anatômica	Modelo	Estatísticas			r <sup>2</sup> aj.	F	
			b <sub>i</sub>	Valor	F'			Prob. > F
Dominante	Comprimento das fibras	Cf=b <sub>0</sub> + b <sub>1</sub> √P	b <sub>0</sub>	716,32	1493,1	< 0,001**	0,500	605,7
			b <sub>1</sub>	62,16	605,7	< 0,001**		
	Diâmetro total	Dt=b <sub>0</sub> + b <sub>1</sub> √P	b <sub>0</sub>	18,441	1753,1	< 0,001**	0,200	152,8
			b <sub>1</sub>	0,7417	152,8	< 0,001**		
	Diâmetro do lume	Dl=b <sub>0</sub> + b <sub>1</sub> /√P	b <sub>0</sub>	15,548	2740,7	< 0,001**	0,040	26,90
			b <sub>1</sub>	-7,617	29,9	< 0,001**		
	Espessura da parede	Ep=b <sub>0</sub> + b <sub>1</sub> P	b <sub>0</sub>	3,6336	1640,1	< 0,001**	0,240	185,6
			b <sub>1</sub>	0,0194	185,65	< 0,001**		
Central	Comprimento das fibras	Cf=b <sub>0</sub> + b <sub>1</sub> P	b <sub>0</sub>	799,3	2838,1	< 0,001**	0,490	495,9
			b <sub>1</sub>	5,14	495,9	< 0,001**		
	Diâmetro total	Dt=b <sub>0</sub> + b <sub>1</sub> P	b <sub>0</sub>	20,115	3474,4	< 0,001**	0,170	101,8
			b <sub>1</sub>	0,0529	101,8	< 0,001**		
	Diâmetro do lume	Dl=b <sub>0</sub> + b <sub>1</sub> /P	b <sub>0</sub>	14,325	3820,6	< 0,001**	0,010	6,690
			b <sub>1</sub>	-15,095	6,69	0,01**		
	Espessura da parede	Ep=b <sub>0</sub> + b <sub>1</sub> P <sup>2</sup>	b <sub>0</sub>	3,7027	2266,7	< 0,001**	0,340	261,6
			b <sub>1</sub>	0,00022	261,63	< 0,001**		

Sendo: Cf = comprimento de fibras, μm; Dt = diâmetro total, μm; Dl = diâmetro do lume, μm; Ep = espessura da parede, μm; P = posição relativa (sentido medula-casca), %; b<sub>i</sub> = parâmetros da equação; F' = valor de F calculado para teste de hipótese dos parâmetros; Prob > F = nível de probabilidade de erro; r<sup>2</sup><sub>aj.</sub> = coeficiente de determinação ajustado; F = valor de F calculado para o modelo; \*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade de erro.

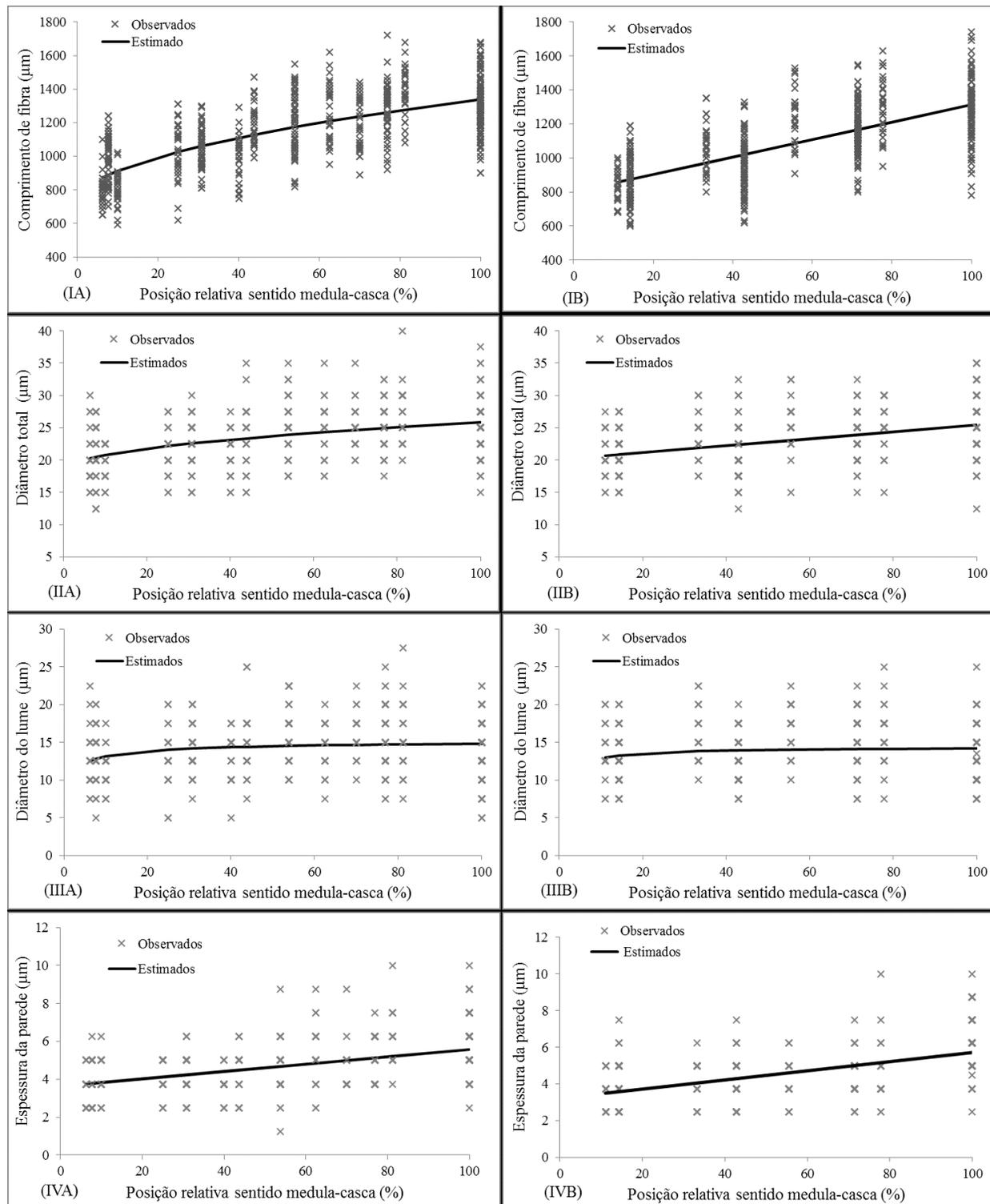
(Sette Júnior et al., 2012). As mudanças nas dimensões dessa característica anatômica refletem diretamente nas propriedades físico-mecânicas do lenho, secagem e na penetração de algumas substâncias (Costa et al., 2017).

O diâmetro do lume das fibras foi a única característica que não apresentou uma variação nítida, aumentando nas posições iniciais e posteriormente estabilizando para as demais (Figura 2IIIA e 2IIIB). Ainda, os resultados permitem observar que o estrato dominante foi 2,2% superior ao central. Em contrapartida, alguns autores observaram um acréscimo do diâmetro do lume até a posição central e em seguida um decréscimo (Ramos et al., 2011; Trevisan et al., 2017; Lima et al., 2018). Essa estabilização pode ser decorrente do aumento da espessura de parede das fibras, o que afeta diretamente nas dimensões do lume (Ramos et al., 2011).

Trevisan et al. (2017) avaliaram a madeira de *E. grandis* e relataram para a espessura da parede das fibras uma tendência crescente em relação à posição no raio, com valores de 4,00 μm; 4,82 μm e 5,76 μm para a região interna, central e externa, respectivamente.

Ademais, alguns autores ressaltam que se tratando da espessura da parede das fibras não há um padrão definido entre as diversas espécies de *Eucalyptus*. Baldin et al. (2017) observaram que a variação nas dimensões dessa característica para *E. benthamii* e *E. grandis* não se manteve gradual, ocorrendo um acréscimo entre o cerne e o cerne periférico, seguido de um decréscimo, enquanto que para *Eucalyptus dunnii* Maiden e *Eucalyptus saligna* Smith os autores relataram aumento linear no sentido cerne para alburno.

Assim, a estabilização das dimensões das fibras, em diversas espécies de *Eucalyptus*, só ocorrerá quando as células do câmbio atingirem seu comprimento máximo, dando início à formação da madeira adulta (Sette Júnior et al., 2012). Ainda, as alterações são decorrentes da maior proporção de madeira adulta em relação à juvenil, ou seja, com o aumento da idade todos os elementos celulares que compõem a planta sofrem igual acréscimo, sendo que as fibras bem como os demais elementos localizados próximos à medula apresentam menores dimensões do que aqueles situados próximos à casca (Lima et al., 2011; Baldin et al., 2015).



**Figura 2.** Variação radial das dimensões das fibras no estrato dominante (A) e central (B) de *Eucalyptus grandis*, aos 18 anos de idade, em função da posição relativa no sentido medula-casca. Onde os números romanos de I a IV representam cada uma das características anômicas estudadas, sendo: I – Comprimento de fibra; II – Diâmetro total; III – Diâmetro do lume; IV – Espessura da parede.

**Figure 2.** Radial variation of fiber dimensions in the dominant (A) and central (B) stratum of *Eucalyptus grandis*, at 18 years of age, depending on the relative position in the pith-bark direction. Where the Roman numerals from I to IV represent each of the studied anatomical characteristics, being: I – Fiber length; II – Total diameter; III – Diameter of the lumen; IV – Thickness of the wall.

## Conclusões

A madeira de *Eucalyptus grandis* apresenta uma variação radial dos seus elementos anatômicos de comprimento das fibras, diâmetro total e do lume e espessura da parede no sentido medula-casca. A seleção de um estrato, em detrimento do outro, não é um fator decisivo na determinação dos valores das características anatômicas.

## Conflito de interesses

Os autores não têm conflito de interesses a declarar.

## Contribuição de Autoria

**Rômulo Trevisan:** Investigação; Supervisão; Metodologia; Escrita – primeira redação. **Luana Candaten:** Conceituação; Análise formal; Escrita – primeira redação; Escrita – revisão e edição. **Henrique Weber Dalla Costa:** Conceituação; Análise formal; Supervisão; Escrita – revisão e edição. **Eduarda Bandeira:** Escrita – primeira redação. **Tauana de Souza Mangini:** Escrita – primeira redação. **Laura da Silva Zanchetta:** Escrita – primeira redação. **Elder Eloy:** Conceituação; Análise formal; Escrita – revisão e edição.

## Referências

- Baldin, T. et al. Anatomia da madeira e potencial de produção de celulose e papel de quatro espécies jovens de *Eucalyptus* L'Hér. **Revista Ciência da Madeira**, v. 8, n. 2, p. 114-126, 2017. <https://doi.org/10.12953/2177-6830/rcm.v8n2p114-126>.
- Baldin, T. et al. Variação radial das propriedades físicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 21, p. 14-19, 2015.
- Barreiros, R. M. et al. Estudo quantitativo da variação estrutural morfológica na madeira de *Calophyllum brasiliense*. **Cerne**, v. 22, n. 1, p. 77-84, 2016. <https://doi.org/10.1590/01047760201622011838>.
- Costa, L. J. et al. Caracterização anatômica e descrição físico-química e mecânica da madeira de *Mimosa schomburgkii*. **Floresta**, v. 47, n. 4, p. 383-390, 2017. <https://doi.org/10.5380/ufv.v47i4.54471>.
- Costa, W. S. et al. Intraspecific variation in functional wood anatomy of tropical trees caused by effects of forest edge. **Forest Ecology and Management**, v. 473, n. 1, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118305>.
- De Jesus, D. S. & Silva, J. S. Variação radial de propriedades anatômicas e físicas da madeira de eucalipto. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, v. 37, n. 1, 2020. <https://doi.org/10.35977/0104-1096.cct2020.v37.26476>.
- Ferro, F. S. et al. Influência da posição dos instrumentos de medida na determinação do módulo de elasticidade da madeira na compressão paralela às fibras (EC0). **Revista Árvore**, v. 39, n. 4, p. 743-749, 2015. <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000400017>.
- Kraus, J. E. & Arduin, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Rio de Janeiro: Edur, 1997.
- Lima, I. L. et al. Variação radial da densidade básica e dimensões celulares da madeira de *Cariniana legalis* (Mart.) O. Kuntze em função da procedência. **Cerne**, v. 17, n. 4, p. 517-52, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602011000400010>.
- Lima, P. A. F. et al. Qualidade da madeira de eucalipto para aplicação como mourão tratado. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 2, p. 509-519, 2018. <https://doi.org/10.19084/rca.17179>.
- Macedo, T. M. et al. Intraspecific variation of *Paubrasilia echinata* (Fabaceae) wood along a latitudinal gradient in Brazil. **Flora**, v. 258, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2019.151437>.
- Marini, L. J. et al. Estimativa da resistência e da rigidez à compressão paralela às fibras da madeira de *Pinus* sp. pela colorimetria. **Ambiente Construído**, v. 21, n. 1, 2020. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212021000100499>.
- Ramos, L. M. A. et al. Variação radial dos caracteres anatômicos da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex Maiden e idade de transição entre lenho juvenil e adulto. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 92, p. 411-418, 2011.
- Sanquetta, S. R. et al. Estrutura e composição de copas e clareiras em um fragmento de floresta ombrófila mista no centro-sul do estado Paraná. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 13, n. 2, 2011.
- SAS Institute. **Getting started with the SAS Learning Edition**. Cary, NC, 2003.
- Sette Junior, C. R. et al. Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 36, n. 6, p. 1183-1190, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622012000600019>.
- Trevisan, R. et al. Dimensões das fibras e sua relação com a idade de transição entre lenho juvenil e adulto de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 4, p. 1385-1393, 2017. <https://doi.org/10.5902/1980509830220>.
- Trevisan, R. et al. Efeito do desbaste no comprimento das fibras da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 2, p. 461-473, 2013. <https://doi.org/10.5902/198050989290>.
- Wheeler, E. A. et al. (ed.). IAWA list of microscopic features for hardwood identification: with an appendix on non-anatomical information. **IAWA Bulletin**, v. 10, n. 3, p. 219-332, 1989.
- Weber, V. P. et al. Diretrizes para desbaste de *Pinus taeda* L. em função da altura dominante. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 1, p. 193-201, 2013. <https://doi.org/10.5902/198050988453>.
- Zanuncio, A. J. V. et al. Anatomical, ultrastructural, physical and mechanical wood properties of two-year-old *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* clones. **Revista Árvore**, v. 42, n. 2, 2018. <https://doi.org/10.1590/1806-90882018000200001>.