

Variações no comprimento das fibras da madeira de *Eucalyptus* para estimativa da herdabilidade no sentido amplo

José Tarcísio Lima¹; Paulo Fernando Trugilho¹; José Reinaldo Moreira da Silva¹;
Sebastião Carlos da Silva Rosado¹; Natalino Calegario¹

¹ Departamento de Ciências Florestais – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil. jtlima4@gmail.com

Resumo: Variações na morfologia das fibras da madeira afetam outras propriedades desse material e de seus produtos. As variações são a base do melhoramento genético da espécie. O objetivo deste trabalho foi estimar a herdabilidade (h^2) no sentido amplo do comprimento das fibras (CF) de onze clones de *Eucalyptus* sp, plantados em quatro ambientes, mediante a avaliação dentro do caule. O CF foi maior na madeira externa do que na interna do tronco nos quatro locais estudados. As ANOVA mostraram diferença significativa no CF entre clones e entre locais. A h^2 para o CF foi igual a 0,466, indicando que esta característica está sob moderado controle genético. A análise de herdabilidade indicou uma tendência de aumento no sentido-medula casca, o que sugere que o controle genético do comprimento das fibras é mais forte para madeira adulta.

Palavras-chave: Morfologia da fibra, Repetibilidade, Clones

Variations in *Eucalyptus* wood fiber length to estimate broad-sense heritability

Abstract: Variations in wood fiber morphology affect other properties of this material and its products. Also, they constitute the basis for genetic improvement of the species. The objective of this work was to estimate the heritability in the broad sense (h^2) of the fiber length (CF) of eleven clones of *Eucalyptus* sp, planted in four environments, through evaluation within the stem. The CF was greater in the external than in the internal wood of the stem in the four sites. The ANOVA showed a significant difference in the CF between clones and between sites. The h^2 for the CF was 0.466, indicating that this characteristic is under moderate genetic control. The heritability analysis indicated an increasing trend in the pith-bark direction, suggesting that the genetic control of CF is stronger for adult wood.

Keywords: Fiber morphology, Repeatability, Clones.

1. INTRODUÇÃO

O comportamento da madeira é influenciado pela morfologia das fibras, seja no caso da madeira maciça ou de produtos de fibras individualizadas. As dimensões das fibras são atributos morfológicos importantes para o conhecimento de suas relações com outras propriedades e processos industriais.

As proporções dos vários tipos de células na madeira apresentam ampla gama de variação entre espécies. Wilkes (1988), reunindo informações fornecidas por vários

autores relatou que as dimensões das fibras de *Eucalyptus* sp. variam de 10 - 20 μm em diâmetro e 0,8 – 1,3 mm de comprimento, ocupando mais de 60% de seu volume.

Em estudo de três espécies de *Eucalyptus* (além de uma *Corymbia*) (Souza *et al.* 2017), e de quatro espécies do mesmo gênero (Bonfatti *et al.* 2023) o comprimento médio das fibras variou entre 0,900 mm e 1,100 mm.

O objetivo deste trabalho foi estimar a herdabilidade no sentido amplo do comprimento das fibras de onze clones de *Eucalyptus* sp, plantados em quatro ambientes, mediante a avaliação dentro do caule.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As amostras das madeiras foram coletadas de 11 clones de *Eucalyptus grandis* \times *Eucalyptus urophylla* (híbridos naturais) com oito anos de idade. Os talhões experimentais foram plantados em quatro locais (Sul da Bahia- SBA, São Mateus 1- SM1, São Mateus 2- SM2 e Aracruz- ARA), usando originalmente o delineamento experimental de blocos casualizados, espaçados 3,0 x 3,0 m, com 26 tratamentos (clones) e três repetições. O experimento original apresentava 21 plantas por bloco (três linhas de sete árvores, resultando em cinco árvores úteis após eliminação das árvores da bordadura). O efeito do bloco não foi aqui considerado, uma vez que estudos prévios fizeram uso de algumas árvores. O material genético utilizado não foi selecionado para comprimento das fibras o que permitiu a utilização do modelo estatístico casualizado. As árvores-amostras foram consideradas apenas representativas das dominantes e co-dominantes.

As dimensões das árvores foram medidas para cada local (Tabela 1). De cada árvore uma tora basal de 3,10 m foi cortada com a finalidade de fornecer amostras.

Tabela 1. Altura total (m) e diâmetro à altura do peito com casca (DAP, cm).

Local	Altura média (m)	CV (%)	DAP médio (cm)	CV (%)
Sul da Bahia	32,2	12,4	24,2	17,8
São Mateus 1	27,1	13,2	19,1	13,8
São Mateus 2	29,0	10,8	19,7	15,3
Aracruz	29,9	11,6	21,4	13,9

Após o desdobro, as pranchas de 3,10 m de comprimento foram cortadas em peças de um metro, sendo que somente as da base foram usadas neste estudo. Sarrafos de 20 mm \times 20 mm de secção foram confeccionados para fornecerem

amostras para a avaliação do comprimento das fibras. Para avaliar a variação radial do comprimento das fibras três regiões foram amostradas: interna, intermediária e externa. A região interna caracterizou o cerne interno em volta da medula, representando cerca de 10% da área seccional da tora (AS). A intermediária caracterizou o cerne subsequente e representou cerca de 40% da AS, enquanto a externa caracterizou o cerne externo e o albarno, representando cerca de 50% da AS.

Para medir as fibras, foi feita a maceração de acordo com Franklin (1945), em que pequenos palitos foram cortados e colocados em tubos de ensaio. Após esta etapa, o material foi lavado com água destilada para remoção dos reagentes químicos. Uma gota da suspensão de fibras foi depositada sobre uma lâmina, coberta com lamínula, para medição do comprimento com o auxílio de um medidor digital. O comprimento foi considerado como a média aritmética de 50 fibras, totalizando 6600 fibras medidas (50 medições \times três posições radiais \times 11 clones \times quatro locais).

Todas as análises estatísticas foram realizadas usando-se o programa MINITAB (1996). Foi executada a análise de variância para determinar os efeitos de clone, local e interações clone \times local sobre o comprimento das fibras. Todos os efeitos foram assumidos como aleatórios, uma vez que os clones não foram selecionados para comprimento das fibras; os locais foram considerados como uma amostra aleatória de ambientes disponíveis para cultivar clones de *Eucalyptus* no Brasil, sendo que um modelo de efeito aleatório é apropriado quando derivando estimativas dos componentes da variância para o cálculo de herdabilidade. Os quadrados médios esperados são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2. Quadrados médios esperados para a Anova, mostrando os componentes da variância devido a locais (δ^2_S), clones (δ^2_C), interação local \times clone (δ^2_{SC}).

Fonte de variação	G.L.	Quadrados médios
Local	3	$\delta^2_{SC} + 11\delta^2_S$
Clone	10	$\delta^2_{SC} + 4\delta^2_C$
Local \times clone	30	δ^2_{SC}

Componentes da variância derivados da análise de variância foram usados na Equação 1 e Equação 2 para estimar a herdabilidade no sentido amplo de cada característica (h^2_{BS}).

Equação 1: $h_{BS}^2 = \frac{\delta_C^2}{\delta_P^2}$;

Equação 2: $\delta_P^2 = \delta_C^2 + \delta_{SC}^2$, em que δ_P^2 é a variância fenotípica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Variação radial do comprimento das fibras

O comprimento das fibras aumentou da madeira mais interna para a externa em todos os locais estudados. Um exame da Tabela 3 mostra que o comprimento médio das fibras aumentou 19,1% do centro para a periferia do tronco. Apesar das poucas posições amostradas, a redução da taxa de crescimento das fibras, observada da posição intermediária para a externa, indica uma tendência de estabilização, corroborando Tomazello-Filho (1987) e Shimoyama (1991), ao pesquisarem madeira de *Eucalyptus*. Exceto para madeiras com estrutura estratificada, o CF aumenta a partir da medula, inicialmente de forma muito rápida (Chalk, 1983).

Tabela 3. Variação radial do comprimento das fibras (mm) de 11 clones de *Eucalyptus*, plantados em quatro locais.

Característica	Local	Posição Radial			Média
		Interna	Intermediária	Externa	
Comprimento das fibras (mm)	SBA	0,980	1,089	1,214	1,141
	SM1	0,965	1,048	1,111	1,071
	SM2	0,915	1,018	1,105	1,051
	ARA	0,933	1,040	1,084	1,051
Média		0,948	1,049	1,129	1,079

SBA- Sul da Bahia; SM1- São Mateus 1; SM2- São Mateus 2 e ARA- Aracruz.

Existe uma diferença estatística significativa no CF entre as três posições radiais ($P \leq 0,01$) para os quatros locais analisados conjuntamente (Tabela 4). Ao serem analisados separadamente, cada um dos locais mostra diferença estatística significativa no CF entre posições radiais ($P \leq 0,01$). Para um clone e local específicos, entretanto, a variação radial no CF pode exibir tendência diferente daquela exibida pela média. Wilkes (1988) encontrou que em *Eucalyptus*, a partir dos primeiros 10-20 anos de crescimento, período de formação de lenho juvenil, nota-se 50% de aumento radial no CF.

Tabela 4. Resumo da análise de variância one-way do comprimento das fibras de 11 clones de *Eucalyptus* entre posições radiais.

Característica	Posição Radial
Comprimento das fibras	**

** $P \leq 0.01$; g.l. (posição) = 2; g.l. (erro) = 129; g.l. (total) = 131

3.2. Variação do comprimento das fibras entre clones e locais

Tabela 5. Estatística descritiva para o comprimento das fibras (mm) para 11 clones e quatro locais.

Clone	Local				Média
	SBA	SM1	SM2	Ara	
1	1,039	1,094	1,062	0,988	1,046
2	1,088	1,004	1,087	1,004	1,046
3	1,270	1,211	1,147	1,107	1,184
4	1,140	1,060	1,056	1,000	1,064
5	1,176	1,087	1,049	0,988	1,075
6	1,133	1,092	1,061	1,154	1,110
7	1,061	1,109	1,111	1,074	1,088
8	1,267	1,135	1,099	1,152	1,163
9	1,184	0,945	1,036	1,041	1,052
10	1,082	1,017	0,921	1,046	1,017
11	1,109	1,027	0,934	1,013	1,021
Média (mm)	1,141	1,071	1,051	1,051	1,079
C.V. (%)	6,8	6,7	6,6	5,9	5,1
Mínima (mm)	1,039	0,945	0,921	0,988	1,017
Máxima (mm)	1,270	1,211	1,147	1,154	1,184

SBA- Sul da Bahia; SM1- São Mateus 1; SM2- São Mateus 2 e ARA- Aracruz.

A média geral do CF, entre clones e locais foi igual a 1,079 mm (Tabela 3), o que está dentro da amplitude da madeira de *Eucalyptus*, que vai de 0,75 a 1,30 mm (Wilkes, 1988). As fibras mais longas (Tabela 5) foram encontradas para a madeira do Sul da Bahia (1,141 mm) e as mais curtas para São Mateus 2. Os CF encontrados por Bonfatti Jr *et al.* (2023) para cinco espécies de *Eucalyptus* variaram de 0,937 a 1,03 mm, sendo mais curtos do que os apresentados na Tabela 5. O CV% abaixo de 7% (Tabela 5) para todos os locais sugere que o CF desviou pouco em relação às médias. O Clone 3 exibiu as fibras mais longas (1,184 mm) enquanto o Clone 10 exibiu as mais curtas (1,017 mm). A diferença entre as fibras mais curtas e as mais longas foi máxima em São Mateus 1 (28% entre o clone 3 e o clone 9) e mínima em Aracruz (16,8% entre o clone 5 e o clone 6).

A Tabela 6 mostra que existem diferenças significativas ($p \leq 0,01$) entre clones e entre locais para o CF, corroborando estudos de Malan e Verryin (1996) para 37 clones de *E. grandis* plantados em 26 locais. Clones juvenis de *E. camaldulensis* crescidos sob condições ambientais controladas em duas casas de vegetação mostraram diferenças significativas no CF entre clones e entre temperaturas (Rudman, 1970).

Fibras jovens são muito mais curtas do que quando completamente maduras. Uma célula filha do câmbio que é destinada a tornar-se uma fibra é inicialmente igual em comprimento a uma célula que irá desenvolver-se em elemento de vaso ou em uma fita de parênquima axial (Chalk, 1983). Foi mostrado nesse estudo que o CF pode ser entre 1,1 e 9,5 vezes o comprimento das iniciais cambiais, como indicado pelo comprimento dos elementos de vasos. Assim, a taxa de crescimento da árvore retarda a taxa de crescimento das iniciais cambiais e o momento de produção de células mais longas (Panshin; De Zeeuw, 1970). Em árvores de rápido crescimento, como as deste estudo, a alta taxa de crescimento pode ter causado redução no comprimento da fibra.

Tabela 6. Análise de variância balanceada do comprimento das fibras de onze clones de *Eucalyptus* por clone e local.

Fonte	G.L.	SQ	QM	F	P
Clone	10	0,118532	0,011853	4,49	**
Local	3	0,059538	0,019846	7,52	**
Erro	30	0,079214	0,002640		
Total	43	0,257284			

ns- não significante; ** $P \leq 0,01$.

3.3 Estimativa de herdabilidade (repetibilidade) do comprimento das fibras

A herdabilidade em sentido amplo (h^2) do CF de 11 clones de *Eucalyptus* plantados em quatro locais, foi baixa ($h^2 = 0,466$), se comparada com estimativas tanto de densidade (Lima *et al.*, 2000a) como de propriedades mecânicas (Lima *et al.*, 2000b), em que as h^2 foram maiores que 0,5. O número de clones (11) testados para CF foi menor do que aquele testado para aquelas propriedades (26). Uma menor herdabilidade sugere que a dependência da característica é devida menos em fatores genéticos do que em fatores ambientais. Exceto para densidade da madeira, a herança do CF tem sido a propriedade da madeira mais estudada em folhosas devido ser considerada como fator limitante em seu uso (Zobel; Jett, 1995). Entretanto, existem poucas estimativas de herdabilidade no sentido amplo para CF em *Eucalyptus*; as disponíveis são maiores que 0,466. Este foi o caso da h^2 para nove clones de *Eucalyptus* plantados em um local no Brasil ($h^2 = 0,59$) (Bertolucci *et al.*, 1992), enquanto a h^2 de nove clones de *Eucalyptus* crescendo em três locais foi igual a 0,85 (Demuner; Bertolucci, 1993). Raymond (1995) relatou em levantamento bibliográfico que o CF da madeira de *Eucalyptus* encontra-se sob controle genético razoavelmente forte.

As herdabilidades encontradas para a posição interna do caule foi igual a 0,127; para a posição intermediária foi 0,335 e para a posição externa foi igual a 0,284, mostrando uma tendência de aumento da herdabilidade a partir do centro do tronco. Esses resultados indicam que o controle genético do CF é mais fraco para madeira juvenil, ou seja, o CF de árvores jovens seria mais suscetível aos fatores ambientais. Por esta razão, a posição central do tronco, relativa à madeira produzida pela árvore ainda jovem, não deve ser a base para selecionar clones para melhoramento do CF.

4. CONCLUSÕES

Para as condições deste estudo, concluiu-se que *i)* o comprimento das fibras (CF) foi 19% maior na madeira mais externa do caule nos quatro locais. As diferenças no CF entre as posições radiais amostradas, entre clones e entre locais foram significantes ($p \leq 0,01$); *ii)* A herdabilidade no sentido amplo para o CF foi igual a 0,466, indicando que esta característica está sob moderado controle genético. Existe uma tendência de aumento radial da herdabilidade, o que sugere que o controle genético do CF é mais forte para madeira adulta.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo financiamento referente ao Processo 314405/2021-6.

6. REFERÊNCIAS

BERTOLUCCI, F. L. G.; DEMUNER, B. J.; LA-TORRACA, S. M. Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos para características de madeira e polpa de eucalipto. In: 13º Encontro Nacional da Tecnicalpa. **Anais** [...] Tecnicalpa. 1992, p. 9-25.

BONFATTI Jr, E. A.; LENGOWSKI, E. C.; CABRAL, B. M.; *et al.* Basic wood density, fiber dimensions, and wood chemical composition of four eucalyptus species planted in Southern Brazil. **Rev Árvore**, 47. <https://doi.org/10.1590/1806-9088202300000004>.

CHALK, L. **Fibres**. In: METCALFE, C. R. & CHALK, L.(eds.). **Anatomy of dicotyledons, Vol. II. Wood structure and conclusion of the general introduction**: 2 ed. Clarendon Press, Oxford. 1983.

DEMUNER, B. J.; BERTOLUCCI, F. L. G. Seleção florestal: uma nova abordagem a partir de estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos para características da

madeira e polpa de eucalipto. In: 26th Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP. **Anais** [...], São Paulo, ABTCP. 1993. p. 22-26.

FRANKLIN, G. L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. **Nature**, v. 155, n. 3924, p. 51, 1945.

LIMA, J.T.; BREESE, M.C.; CAHALAN, C.M. Genotype-environment interaction in wood basic density of *Eucalyptus* clones. **Wood Science and Technology**, v.34, n.2, p. 197-206, 2000a.

LIMA, J.T., BREESE, M. C.; CAHALAN, C. M. Variation in wood density and mechanical properties in *Eucalyptus* clones. In: Proceedings of IUFRO Conference The future of Eucalypts for wood products. **Anais** [...], Launceston, Austrália, 2000b, p. 282-291.

MALAN, F. S.; VERRYIN, S. D. Effect of genotype-by-environment interaction on the wood properties and qualities of four-year-old *Eucalyptus grandis* and *E. Grandis* Hybrids. **Southern African Forestry Journal**, v.176, p. 47-53. 1996.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood Technology**. 4 Ed. New York, McGraw-Hill. 574 p. 1980.

RAYMOND, C. A. **Genetic control of wood and fibre traits in *Eucalyptus***. In: POTTS, B. M., BORRALHO, N. M. G., REID, J. B. *et al.* (Ed). *Eucalyptus* Plantations: Improving Fibre Yield and Quality. In: IUFRO Conference. **Anais** [...], Hobart, Australia, p. 49-52. 1995.

RUDMAN, P. The influence of genotype and environment on wood properties of juvenile *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. **Silvae Genetica**, v.19, p. 49-54. 1970.

SHIMOYAMA, V. R. S. **Variações da densidade básica da madeira e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* spp.** 1991. ESALQ/USP, Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1991.

SOUZA, M. T.; LIMA, J. T.; SOARES, B. C. D. *et al.* Delimitação estatística dos lenhos juvenil e adulto de *Eucalyptus* e *Corymbia*. **Sci. For.**, v. 45, n. 116. p. 611-618. 2017.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus globulus*, *E. pellita* e *E. acmenioides*. **IPEF**, v.36, p. 35-42. 1987.

WILKES, J. Variations in wood anatomy within species of *Eucalyptus*. **IAWA Bulletin**, v.9, n.1, p. 13-23. 1988.

ZOBEL, B. J.; JETT, J. B. **Genetics of wood production**. Berlin, Springer-Verlag. 1995. 337 p.