

IPEF - ESALQ  
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

SCIENTIA  
FORESTALIS

ISSN 1413-9324  
Nº 54, Dezembro, 1998

# Variação genética de indicadores de tensão de crescimento em clones de *Eucalyptus urophylla*

## *Genetic variation of growth stress indicators in clones of Eucalyptus urophylla*

Lothar Schacht  
José Nivaldo Garcia  
Roland Vencovsky

---

RESUMO: De um banco clonal de 9 anos de idade de *Eucalyptus urophylla* S.T.Blake, 148 árvores de 27 clones foram derrubadas e serradas para estudo da variação genética de indicadores de tensão de crescimento. Caracteres relativos à tensão de crescimento como rachaduras de toras, de tábuas, empenamentos da madeira serrada e caracteres silviculturais como diâmetro à altura do peito sem casca (DS), altura total da árvore, altura do fuste, comprimento de copa e conicidade do fuste, foram considerados para estimarem-se herdabilidades no sentido amplo e correlações genéticas e fenotípicas entre os caracteres. Os resultados mostraram que as rachaduras e os empenamentos de toras e/ou madeira serrada são altamente herdáveis e que não existe correlação genética entre DS e qualquer um desses caracteres de qualidade da madeira. A porcentagem de rachaduras de topo de toras, a flecha da primeira costaneira ou a flecha do vigote desta, obtidas em condições padronizadas, podem ser considerados caracteres adequados para seleção, pois podem melhorar simultaneamente as rachaduras e os empenamentos da madeira serrada. A significativa correlação negativa obtida das rachaduras ou empenamentos com o quociente DS/HT, chamado fator de estabilidade, possibilita também o melhoramento desses caracteres através de seleção indireta, com a vantagem de ser um indicador não destrutivo.

PALAVRAS-CHAVE: Tensão de Crescimento, Rachadura de Topo, Empenamento, Madeira Serra-da, *Eucalyptus*, Herdabilidade, Correlação Genética.

ABSTRACT: In a 9 years old clonal bank of *Eucalyptus urophylla* S.T.Blake, 148 trees of 27 clones were felled and sawed for studying the genetic variation of growth stress indicators. Traits concerning growth stress as log end splitting, end boards splitting and lumber warping were taken in several positions along the tree stem and some silvicultural traits as diameter at breast height within bark (DS), total height of the tree (HT), stem height, crown length and stem tapering were considered for estimating broad sense heritabilities and genetic and phenotypic correlations. Results showed that splits and warping of logs and/or saw lumber are highly heritable and there is no genetic correlation between DBH and any of these wood quality characters. Log end splitting percentage, deflection of the first slab or deflection of the beam cut from it, obtained under standard conditions, can be

considered very good characters for selection aiming the improving of splits and lumber warping, simultaneously. The significant negative correlation between stability factor (ST) and split or between ST and warping also allows the improvement of these traits by indirect selection based on ST, with the advantage of being a non-destructive indicator.

KEYWORDS: Growth stress, End splitting, Warping, Lumber, *Eucalyptus*, Heritability, Genetic correlation.

## INTRODUÇÃO

As rachaduras e empenamentos da madeira serrada estão entre os principais problemas que afetam a qualidade e o rendimento em madeira serrada do eucalipto e têm como causa fundamental as tensões de crescimento.

São poucos os trabalhos que quantificam os efeitos genéticos das tensões de crescimento (Fernandes, 1982 e Malan, 1984 e 1987), ou apenas comentam a existência desses efeitos (Nicholson, 1973; Haslett, 1988; Ponce, 1993 e Zobel e Jett, 1995). Embora os eucaliptos autodesenvolvam, em geral, elevados níveis de tensões de crescimento, algumas de suas espécies, como por exemplo *E. muellerana*, apresentam fracos indícios destas tensões (Haslett, 1988).

A estimativa de parâmetros genéticos pode ser influenciada por vários fatores. A competição, que pode começar antes do primeiro ano de idade mesmo em espaçamento de 3 x 3 m, pode levar a subestimativas da variação genética (Bouvet, 1997).

A existência do “efeito c” é outro fator que tem sido apontado como causa de estimativas tendenciosas de parâmetros genéticos (Libby e Jund, 1962 e Burdon e Shelbourne, 1974). Quando esse efeito é causado por diferenças de idade fisiológica, associa-se o mesmo a variações na taxa de crescimento (Watt et al., 1995) e às propriedades básicas da madeira (Nicholls et al. 1977; Sweet e Harris, 1976 e Lausberg et al., 1995).

Podem ocorrer grandes variações nas intensidades das tensões de crescimento ao longo da circunferência da árvore (Gueneau e Saurat, 1976; Nicholson, 1973 e Nicholson et al., 1975), o que

tem sido explicado pela inclinação do fuste (Nicholson, 1973), pela variação do ângulo da grã na madeira (Archer, 1979), pelos fatores relacionados à presença de madeira de reação (Walker, 1993 e Jourez, 1997), ou mesmo pela tortuosidade do fuste (Dinwoodie, 1966), especialmente quando a curvatura ocorre em dois planos perpendiculares.

A variação da intensidade dessas tensões ao longo da altura do fuste tem sido controversa. Pode ser crescente até uma altura de cerca de 7 m (Yao, 1979 e Chafe, 1981) com posterior declínio até os 11 m (Yao, 1979), decrescente até os 11 ou 12 m (Skolmen, 1974 e Purnell, 1988), estritamente crescente ou uniforme, conforme diversas citações de Kubler (1987).

Com o objetivo principal de investigar as variações genéticas, fenotípicas, intraclonais e intra-árvores de indicadores de tensões de crescimento, surgiu o interesse em estudar um banco clonal de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, visto que essa espécie tem apresentado um dos menores índices de rachaduras no seu híbrido com o *E. grandis* (Malan, 1993) e um dos menores índices de empenamento (Garcia, 1992).

## MATERIAL E MÉTODOS

De um banco clonal de 21,4 ha de 9 anos de idade, instalado na região de Aguai, Estado de São Paulo, sob espaçamento 3 x 3 m, procedeu-se um estudo de variação genética de alguns caracteres tecnológicos, utilizando-se para isso

148 árvores. Esse mesmo material, originário da Ilha de Flores (Indonésia), tinha sido propagado por estacas de uma seleção para casca lisa a partir de uma população base de 6 anos de idade.

Consideraram-se sistematicamente todos os clones encontrados em, no mínimo, duas parcelas e diâmetro à altura do peito (DAP) superior a 15 cm. A escolha das parcelas de 4 X 10 árvores, dentro de cada clone, obedeceu ao critério do menor número de falhas com descarte das árvores de bordadura de cada parcela. Vinte clones dos 27 escolhidos continham 3 repetições e os outros 7 clones continham apenas 2 repetições. O material de estudo apresentou grande variação intraclonal do diâmetro, o que foi contornado pela escolha de apenas duas árvores de maior DAP dentro de cada parcela. Dessa forma, procurou-se minimizar os efeitos da idade fisiológica.

No momento do corte das árvores, tomaram-se os seguintes caracteres dendrométricos: DAP sem casca (DS), altura total da árvore (HT), altura do fuste (HF), tamanho da copa (CP) e conicidade do fuste (CN). Esses caracteres foram obtidos conforme a metodologia de Schacht (1998). Determinou-se também o fator de estabilidade (ST) através da razão DS/HT.

No seccionamento das árvores em toras de 3,4 m de comprimento, o qual foi feito a partir de 1,3 m da base, apoiaram-se corretamente os fustes para evitarem-se as rachaduras oriundas do efeito de flexão. Essa operação ocorreu num mesmo dia, para minimizarem-se diferenças nas rachaduras devidas ao fator tempo pós-corte (Bariska, 1990 e Schacht e Garcia, 1997).

As árvores que durante o corte de derrubada caíram sobre tocos ou troncos de outras árvores foram descartadas e, nesse caso, cortou-se uma árvore substituta na mesma parcela. Dentro da amostragem básica de 148 árvores, escolheram-se ainda as 60 árvores que apresentaram maior retidão de fuste, e procedeu-se a retirada de uma segunda tora para servir de estudo na análise da variação vertical de alguns caracteres. Dessa forma, foi possível estudar a variação vertical das

rachaduras de extremidades de toras protegidas com saco plástico (RP) em 6 clones, das rachaduras de tábuas (TB) em 12 clones e do empenamento (FV) em 10 clones. As variáveis RP, TB e FV serão descritas adiante, conjuntamente com outros caracteres.

Imediatamente após o seccionamento, os topos das toras foram vedados com um saco plástico umedecido para retardar as rachaduras de secagem e, assim, as toras foram conservadas até o momento do desdobro.

As rachaduras RP foram medidas na base de toda 1ª tora e as rachaduras de extremidade de tora desprotegida (RT) foram medidas na seção adjacente à base da 1ª tora, ou seja, no topo da tora de 1,3 m retirada abaixo do DAP. Nos casos em que foram obtidas duas toras por árvore, as rachaduras RP também foram medidas nos topos da primeira e segunda toras. Todas essas rachaduras foram medidas no 4º dia após o seccionamento, conforme a metodologia descrita por Schacht e Garcia (1997).

O primeiro e o segundo cortes longitudinais das toras foram realizados numa serra de fita simples. O primeiro foi feito, como mostra a Figura 1(a), paralelo à casca, de modo a produzir uma costaneira de espessura aproximadamente constante de 3 cm sem casca. Esse corte foi feito segundo o plano de menor curvatura da tora para evitar-se o efeito da tortuosidade no valor do seu empenamento (Dinwoodie, 1966). Imediatamente após o corte essa costaneira foi processada numa serra circular dupla, conforme a Figura 1 (b), de maneira a produzir uma peça central chamada vigote da costaneira, de cerca de 2,5 cm de espessura. O encurvamento da primeira costaneira (FC), o encurvamento do vigote ( $V_x$ ) e o arqueamento do vigote ( $V_y$ ) foram medidos, conforme a Figura 1 (c), no meio do vão central de 2,7 m de cada peça em estudo. A flecha resultante do vigote da costaneira (FV) foi determinada pela equação:

$$FV = \sqrt{V_x + V_y}$$

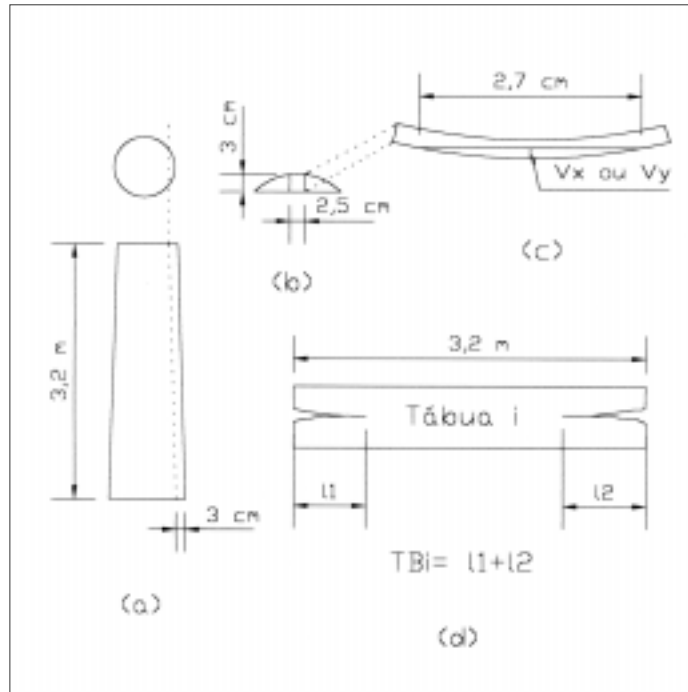


Figura 1

Processo de obtenção da costaneira (a), do vigote central (b), medição do encurvamento e arqueamento do vigote (c) e da medição do comprimento das rachaduras da tábua (d).

*Process of slab obtainment (a), of the central beam (b), measurement of the bowing and crooking of the beam (c) and the length measurement of the board splits (d).*

No segundo corte obteve-se uma segunda costaneira, oposta e equivalente à primeira, de forma a produzir um bloco diametral.

Nas faces serradas de cada bloco foi medido o comprimento da maior rachadura de cada extremidade que, somados, forneceram a variável rachadura de bloco (BL). Os blocos resultantes foram processados numa serra de quadro tipo francesa, para liberação simétrica das tensões de crescimento (Boyd, 1950; Dinwoodie, 1966 e Garcia, 1995), em tábuas de 2,7 cm de espessura.

Nas tábuas obtidas desses blocos também foram medidos os comprimentos máximos das rachaduras das duas extremidades, conforme mostra a Figura 1(d). A rachadura de tábua (TB) representa a média dessas rachaduras dentro de cada bloco. De modo análogo obteve-se a flecha média de tábua (FT).

Os modelos estatísticos utilizados na análise dos dados foram:

$$Y_{ijk} = m + c_i + p_{j(i)} \quad [1]$$

$$Y_{ijkq} = m + c_i + p_{j(i)} + a_{k(ij)} + s_q + (cs)_{iq} + e_{ijq} + d_{ijkq} \quad [2]$$

onde:

$Y_{ijk}$ : é o valor do carácter Y da árvore k, na parcela j, dentro do clone i;

$Y_{ijkq}$ : é o valor do carácter Y da seção q, da árvore k, dentro da parcela j do clone i;

m: é a média;

$c_i$ : é o efeito aleatório do clone i, sendo  $i = 1, 2, \dots, 27$ ;

$p_{j(i)}$ : é o efeito aleatório da parcela j dentro do clone i, sendo  $j = 1, 2, 3$ ;

$a_{k(ij)}$ : é o efeito aleatório da árvore k dentro da parcela j do clone i, sendo  $k = 1, 2$ ;

$s_q$ : é o efeito fixo da seção de altura m, sendo  $q = 1, 2, 3$  para rachadura de topo,  $q = 1, 2$  para flecha;

$(cs)_{iq}$ : é o efeito aleatório da interação do clone i com a seção de altura q;

$e_{ijq}$ : é o efeito aleatório do erro ao nível de parcelas e seções;

$d_{ijkq}$ : é o efeito aleatório do erro ao nível de árvores e seções.

Tabela 1

Esquema de análise de variância.

*Outline of analysis of variance.*

Nº	FV	GL	E(QM)
1	C	i-1	$\sigma_d^2 + K\sigma_e^2 + JK\sigma_{cs}^2 + Q\sigma_a^2 + KQ\sigma_p^2 + JKQ\sigma_c^2$
2	P/C	i(j-1)	$\sigma_d^2 + K\sigma_e^2 + Q\sigma_a^2 + KQ\sigma_p^2$
3	A/P/C	ij(k-1)	$\sigma_d^2 + Q\sigma_a^2$
4	S	q-1	$\sigma_d^2 + K\sigma_e^2 + JK\sigma_{cs}^2 + IJK\phi_s$
5	S x C	(q-1)(i-1)	$\sigma_d^2 + K\sigma_e^2 + JK\sigma_{cs}^2$
6	S x P/C	i(q-1)(j-1)	$\sigma_d^2 + K\sigma_e^2$
7	S x A/P/C	ij(q-1)(k-1)	$\sigma_d^2$

Obs.: Quocientes de quadrados médios para os testes F: (1+6):(2+5), (2+7):(3+6), 3:7, 4:5, 5:6, 6:7;  $\sigma$  e  $\phi$  referem-se aos efeitos aleatórios e fixo, respectivamente; C = clones, P = parcelas, A = árvores, S = alturas de seção.

Note: Mean squares quotients for F tests: (1+6):(2+5), (2+7):(3+6), 3:7, 4:5, 5:6, 6:7;  $\sigma$  e  $\phi$  are the randomly and fixed effects respectively; C = clones, P = plots, A = trees, S = section heights.

Adotou-se o modelo aleatório [1] para a análise da variância e das correlações ao nível de totais de parcelas para todos os caracteres, um a um. Para o estudo da variação de RP, TB e FV entre e dentro de árvores, adotou-se o modelo [2], que é misto, pois seções de altura (S) foram consideradas de efeito fixo e clones (C), parcelas (P) e árvores (A) foram considerados de efeitos aleatórios. As correlações entre as diversas variáveis estudadas foram obtidas por meio do procedimento de análise de covariância proposto por Kempthorne (1969).

O esquema da análise de variância entre e dentro de árvores é apresentado na Tabela 1. O número de graus de liberdade de combinações lineares de quadrados médios foi obtido pela aproximação de Satterthwaite (1946).

Todos os componentes de variância foram calculados pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML). As estimativas da herdabilidade no sentido amplo ao nível de médias ( $h^2$ ) foram determinadas pelas expressões [3] e [4] dadas a seguir. A expressão [3] considera a variação do caráter apenas entre árvores e a expressão [4] inclui também a variação do caráter dentro da árvore, ou seja, em diferentes alturas.

$$h^2 = \frac{\sigma_c^2}{\sigma_c^2 + \frac{\sigma_p^2}{J} + \frac{\sigma_a^2}{JK}} \quad [3]$$

$$h^2 = \frac{\sigma_c^2}{\sigma_c^2 + \frac{\sigma_p^2}{J} + \frac{\sigma_a^2}{JK} + \frac{\sigma_{cs}^2}{Q} + \frac{\sigma_e^2}{JQ} + \frac{\sigma_d^2}{JKQ}} \quad [4]$$

onde:

$\sigma_c^2$  é a variância entre clones;

$\sigma_p^2$  é a variância entre parcelas;

$\sigma_a^2$  é a variância entre árvores;

$\sigma_{cs}^2$  é a variância da interação seções x clone;

$\sigma_e^2$  é a variância do erro seções x parcelas;

$\sigma_d^2$  é a variância do erro seções x árvores

Os erros das estimativas de herdabilidade da expressão [3] foram calculados de acordo com o procedimento adotado por Vencovsky e Barriga (1992). Os dados de RP, RT, BL, TB, FC, FV e CN foram transformados utilizando-se a transformação ótima de Box e Cox (1964) para obterem-se os níveis de significância dos testes F, das correlações e das comparações múltiplas. Para a comparação das médias de clones utilizou-se o método de comparação múltipla com o melhor

(Hsu, 1997), visto que em se tratando de seleção, a comparação de todos os tratamentos entre si tem pouca importância prática (Chew, 1977).

Todas as análises estatísticas foram realizadas através do software SAS (versões 6.08 e 6.11).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 mostra os resultados obtidos, através do modelo [1], para cada um dos 13 caracteres em estudo. Esses resultados referem-se à média e intervalo de variação de cada clone, à estatística F, à herdabilidade no sentido amplo e ao erro esperado na sua estimativa. Os valores de herdabilidade encontrados para as rachaduras (RP, RT, TB, BL) e flechas (FC, FV e FT) indicam

que esses caracteres são fortemente herdáveis em *E. urophylla* e, portanto, constituem-se em importantes indicadores tecnológicos sobre os quais devem basear-se os programas de melhoramento de árvores para serraria.

Quando foram analisadas duas toras por árvore, obtiveram-se valores de herdabilidade no sentido amplo de 0,76 para FV, 0,50 para RP e 0,46 para TB, menores que os respectivos valores de 0,83, 0,74 e 0,60, referentes aos mesmos clones, mas relativos somente à primeira tora. Esses últimos valores, que consideram também a variação dentro da árvore estão mais próximos da realidade visto que, na prática industrial, é aproveitado todo o fuste comercial da árvore.

O grau de competição entre as árvores pode ser inferido pelo fato de que o valor médio de ST

Tabela 2

Média geral, intervalo de variação da média dos clones, valores de F para a diferença entre clones e estimativas da herdabilidade para todas as variáveis estudadas.

*Overall mean, confidence interval of the clone mean, F values for clone differences and heritability estimating for all traits studied.*

Código	Unidade	Média	Intervalo de Variação	F	h <sup>2</sup>	Erro da Estimativa
RP	%	0,493	0,002-2,021	5,46***	0,831	0,057
RT	%	0,792	0,146-3,474	4,71***	0,822	0,060
BL	cm	27,7	6,6-76,1	6,16***	0,810	0,064
TB	cm	22,9	10,9-52,4	4,34***	0,741	0,087
FC	cm	2,19	1,23-3,52	6,67***	0,829	0,057
FV	cm	3,80	2,09-6,09	6,72**	0,833	0,056
FT	cm	1,62	1,03-2,42	2,85***	0,649	0,118
DS	cm	17,0	14,8-19,7	2,12**	0,534	0,156
HT	m	25,5	19,3-30,6	1,91*	0,479	0,175
HF	m	18,8	13,2-24,3	1,72ns	0,409	0,198
CP	%	26,7	10,8-38,4	2,34**	0,568	0,145
CN	-	1,61	1,52-1,83	1,09ns	0,066	0,313
ST	cm/m	0,673	0,591-0,846	2,61**	0,616	0,129

Obs.: ns =  $P > 0,05$ ; \* =  $P < 0,05$ ; \*\* =  $P < 0,01$ ; \*\*\* =  $P < 0,001$ ; RP = rachaduras de extremidades de toras protegidas com saco plástico, RT = rachaduras de extremidade de tora desprotegida, BL = rachadura de bloco, TB = rachadura de tábuas, FC = flecha da costaneira, FV = flecha do vigote da costaneira, FT = flecha de tábuas, DS = diâmetro à altura do peito sem casca, HT = altura total da árvore, HF = altura do fuste, CP = tamanho da copa, CN = concicidade do fuste, ST = fator de estabilidade.

Note.: ns =  $P > 0,05$ ; \* =  $P < 0,05$ ; \*\* =  $P < 0,01$ ; \*\*\* =  $P < 0,001$ ; RP = end splitting of logs with plastic bags, RT = end splitting of logs without plastic bags, BL = block split, TB = board split, FC = slab deflection, FV = deflection of the beam cut from the slab, FT = board deflection, DS = diameter at breast height within bark, HT = total height of the tree, HF = stem height, CP = crown length, CN = stem tapering, ST = stability factor.

encontrado (0,673) é muito inferior ao valor de 1,1 encontrado por Malan (1988), e ao intervalo de 1,1-1,4, calculado para os dados de Vignote et al. (1996). Calculando-se o fator de estabilidade a partir dos dados de DAP e alturas médias obtidos por Stape (1995) em uma população de *Eucalyptus dunnii* de 6 anos de idade verificou-se que esse fator variou de 0,54 para 1,4 m<sup>2</sup>/planta a 1,21 para 44 m<sup>2</sup>/planta.

Tabela 3

Análise de variância para os caracteres RP e FV, considerando a variação entre e dentro de árvores. *Analysis of variance of traits RP and FV considering the variation between and within trees.*

Fonte de Variação	RP		TB		FV	
	GL	P>F	GL	P>F	GL	P>F
C	5	0,0676	11	0,0009	9	0,0013
P/C	11	0,0000	18	0,0002	18	0,5691
A/P/C	17	0,5429	30	0,6864	28	0,0649
S	2	0,3871	1	0,0088	1	0,4331
S x C	10	0,0027	11	0,2919	9	0,0152
S x P/C	22	0,4740	18	0,3503	18	0,3356
S x A/P/C	34		30		28	

Obs.: C = clones, P = parcelas, A = árvores, S = seções de altura; RP = rachaduras de extremidades de toras protegidas com saco plástico, TB = rachadura de tábuas, FV = flecha do vigote da costaneira.

Note.: C = clones, P = plots, A = trees, S = height sections; RP = end splitting of logs with plastic bags, TB = board split, FV = deflection of the beam cut from the slab.

A Tabela 3 mostra que seção de altura teve um efeito significativo somente em TB. Em RP e FV a influência da seção de altura foi significativamente diferente conforme o clone e se forem analisados os dados em cada árvore não se observa uma tendência definida. Em RP isso ocorreu muito provavelmente devido às variações no ângulo da grã, resultantes da presença de nós na madeira. Quando essas toras foram serradas em tábuas as tensões de crescimento foram quase que totalmente liberadas na forma de rachaduras e flechas. Isso explica a significativa diferença de TB, que teve uma média de 27 cm na primeira

tora e 23 cm na segunda tora. Em FV isso ocorreu muito provavelmente devido à presença de madeira de reação.

Na Tabela 4 encontram-se as correlações genéticas e fenotípicas, ao nível de totais de parcelas, considerando-se somente o modelo [1]. Em alguns casos encontraram-se valores elevados de correlação que não foram significativos. Isso ocorreu porque a magnitude dos valores foi calculada com os dados originais e a significância foi verificada com os dados transformados, quando necessário.

Analisando-se os caracteres HT com ST, verifica-se que geneticamente eles não são correlacionados, mas são correlacionados fenotipicamente de forma negativa. Verifica-se que as árvores mais altas são também mais esbeltas porque apresentam menores valores de ST. Esse fato confirma um forte efeito ambiental sobre o DS, muito provavelmente devido à competição entre árvores.

A significativa correlação fenotípica de HT com todas as rachaduras pode ser resultante deste efeito de competição, conforme constatado por Ferrand (1982, 1983). A literatura também cita que povoamentos de eucalipto após desbastes pesados têm menores tensões de crescimento do que aqueles sujeitos a desbastes leves e moderados, o que pode ser explicado pelo maior crescimento diametral das árvores. O diâmetro das árvores é o que realmente influi no gradiente de tensões (Haslett, 1988 e Hillis, 1984), e o aspecto de idade (Hillis, 1984 e Vignote et al., 1996) perde a sua importância.

A variável DS não se correlaciona geneticamente com rachaduras ou empenamentos, fato este que possibilita o melhoramento para baixos níveis de tensões de crescimento, sem perder produtividade. As correlações fenotípicas de RP e RT com o DS - 0,51 e 0,48, respectivamente - e com HT - 0,75 e 0,65, respectivamente - foram significativas devido a efeitos de ambiente, provavelmente devido à competição entre as árvores e por isto não estão de acordo com a literatura.

Tabela 4

Correlações genéticas (triângulo superior) e correlações fenotípicas (triângulo inferior) com o respectivo nível de significância.

*Genetic correlations (upper triangle) and phenotypic correlations (lower triangle) and corresponding significance level.*

	RP	RT	BL	TB	FC	FV	FT	DS	HT	HF	CP	CN	ST
RP	0,91***	0,97**	1,00***	0,97**	0,68**	0,70**	0,69**	0,48ns	0,90*	0,82ns	-0,27ns	-0,44ns	-0,63*
RT	0,93***	0,87***	0,95**	0,99**	0,53**	0,54**	0,45*	0,46ns	0,78*	0,59ns	-0,06ns	-0,30ns	-0,50*
BL	0,90***	0,89***	0,93***	0,99**	0,73**	0,76**	0,77**	0,57ns	0,89*	0,86*	-0,34ns	0,05ns	-0,56*
TB	0,90***	0,89***	0,93***	0,93***	0,63**	0,64**	0,75**	0,40ns	0,76*	0,64ns	-0,16ns	-0,41ns	-0,56*
FC	0,61***	0,49***	0,63***	0,55***	1,00**	0,97***	0,06ns	0,49ns	0,51ns	-0,25ns	0,19ns	-0,54*	-0,54*
FV	0,62***	0,48***	0,66***	0,55***	0,99***	1,01***	0,10ns	0,56ns	0,64ns	-0,37ns	0,06ns	-0,60*	-0,60*
FT	0,43***	0,30***	0,48***	0,45***	0,74***	0,78***	-0,07ns	0,54ns	0,78*	-0,62ns	-1,23ns	-0,70*	-0,70*
DS	0,51***	0,48***	0,56***	0,50***	0,11ns	0,11ns	-0,16ns	0,63ns	0,34ns	0,15ns	0,58ns	0,09ns	0,09ns
HT	0,75***	0,65***	0,70***	0,65***	0,40**	0,41***	0,19ns	0,71***	0,82ns	-0,24ns	0,13ns	-0,70ns	-0,70ns
HF	0,65***	0,49***	0,64***	0,55***	0,39**	0,43***	0,29*	0,53***	0,88***	-0,78ns	-0,27ns	-0,75ns	-0,75ns
CP	-0,28**	-0,11ns	-0,31**	-0,23ns	-0,22*	-0,29**	-0,31**	-0,10ns	-0,41***	-0,79***	0,59ns	0,46ns	0,46ns
CN	-0,08ns	-0,05ns	-0,06ns	-0,12ns	0,11ns	0,07ns	-0,19ns	0,03ns	-0,06ns	-0,20ns	0,29*	0,41ns	0,41ns
ST	-0,51***	-0,40***	-0,41***	-0,39***	-0,45***	-0,46***	-0,41***	0,00ns	-0,70***	-0,71***	0,48***	0,11ns	0,11ns

Obs.: ns =  $P > 0,05$ ; \* =  $P < 0,05$ ; \*\* =  $P < 0,01$ ; \*\*\* =  $P < 0,001$ ; RP = rachaduras de extremidades de toras protegidas com saco plástico, RT = rachaduras de extremidade de tora desprotegida, BL = rachadura de bloco, TB = rachadura de tábuas, FC = flecha da costaneira, FV = flecha do vigote da costaneira, FT = flecha de tábuas, DS = diâmetro à altura do peito sem casca, HT = altura total da árvore, HF = altura do fuste, CP = tamanho da copa, CN = conicidade do fuste, ST = fator de estabilidade.

Note.: ns =  $P > 0,05$ ; \* =  $P < 0,05$ ; \*\* =  $P < 0,01$ ; \*\*\* =  $P < 0,001$ ; RP = end splitting of logs with plastic bags, RT = end splitting of logs without plastic bags, BL = block split, TB = board split, FC = slab deflection, FV = deflection of the beam cut from the slab, FT = board deflection, DS = diameter at breast height within bark, HT = total height of the tree, HF = stem height, CP = crown length, CN = stem tapering, ST = stability factor.

Citam-se coeficientes de correlação fenotípica entre a rachadura de topo de toras e diâmetro variando de 0,22 (Malan, 1988) a ausentes (Malan, 1992) e coeficientes de correlação fenotípica entre diâmetro e tensão de crescimento variando de -0,0459 a -0,0263 (Vignote et al. 1996). Encontraram-se, também, coeficientes de correlação fenotípica entre rachadura de topo de tora e altura, da ordem de 0,26 (Malan, 1988) e entre tensão de crescimento e altura, da ordem de 0,0259 (Vignote et al., 1996).

A medição de rachaduras de topo de toras protegidas com saco plástico (RP) ou mesmo livre (RT) é um eficiente método para a seleção de árvores com baixa intensidade de rachaduras na madeira serrada (TB), tendo sido encontradas correlações fenotípicas de 0,90 e 0,89, respectivamente. Entretanto, devem ser padronizadas as condições de medição no campo, pois podem

ocorrer grandes variações oriundas das tensões de secagem.

A medição da flecha da costaneira (FC) ou do vigote obtido desta (FV), podem ser considerados procedimentos muito eficientes para selecionar árvores produtoras de madeira serrada com baixos níveis de empenamento.

Obtiveram-se muito poucas diferenças entre as correlações fenotípicas das rachaduras de tábuas verdes (TB) com as rachaduras RP (0,90) e RT (0,89). A diferença de magnitude entre RP e RT medidas em faces adjacentes, como mostra a Tabela 2, deve-se à interação de rachaduras de tensões de crescimento com rachaduras oriundas do processo de secagem (Purnell, 1988 e Schacht e Garcia 1997).

Considerando que rachaduras devidas ao colapso podem começar em 20 minutos após o seccionamento do fuste (Barnacle, 1971) e que

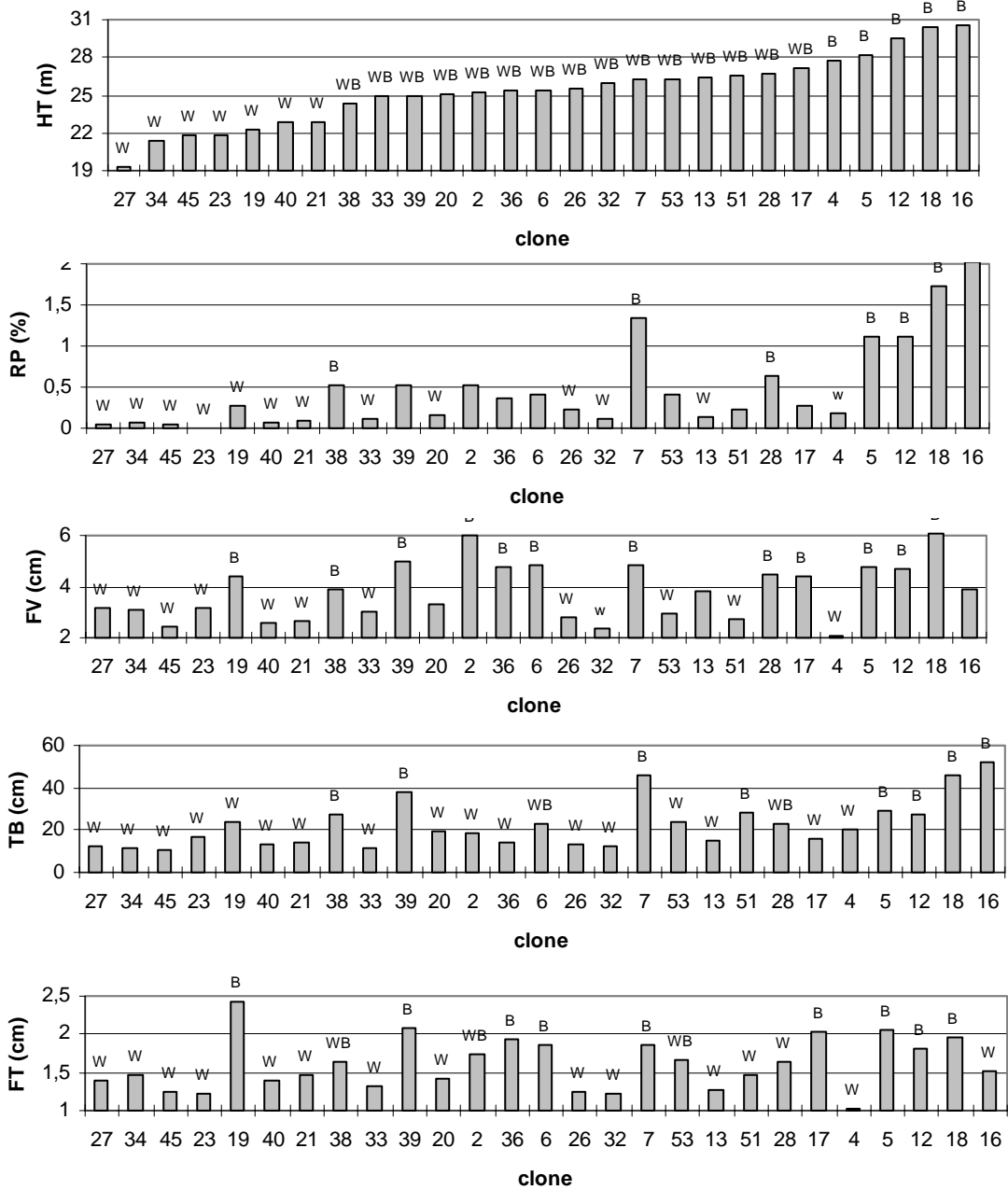


Figura 2

Comparação de médias dos caracteres HT - altura total da árvore (a); RP - rachadura de topo de toras com saco plástico e FV - flecha do vigote (b); TB - rachadura de tábuas e FT - encurvamento de tábuas (c); onde B são os maiores valores e W são os menores valores a um nível de 5% de probabilidade.

Comparisons of means of traits HT - total tree height (a); RP - end splitting of logs with plastic bags and FV - deflection of the beam (b); TB - splitting of the boards and FT - bowing of the boards (c); where B's are the largest values and W's are the lowest values, at 5% significance level.

rachaduras devidas à secagem abaixo do ponto de saturação das fibras começam geralmente após o 4º dia (Bariska, 1990), deduz-se que o colapso pode ser o responsável pela diferença entre as médias de RP e RT.

As altas correlações genéticas de RP e RT com TB - 0,97 e 0,99, respectivamente - facilitam a seleção genética ainda no campo, pois indiretamente permitem aumentar o rendimento em madeira serrada verde. As significativas correlações genéticas das rachaduras de RP e RT com FT - 0,69 e 0,45, respectivamente -, indicam que a seleção ainda no campo pode reduzir consideravelmente o encurvamento das tábuas. Esta seleção indireta implica diretamente sobre a qualidade de peças serradas longas.

As correlações genéticas negativas de ST com as rachaduras e empenamentos indicam que a seleção indireta de clones com alta relação DS/HT pode ser um meio de se reduzir o nível de tensões de crescimento na população melhorada.

A Figura 2 apresenta as comparações de médias dos caracteres HT, RP, FV, TB e FT, onde se agrupam os clones conforme os prováveis maiores (B) e menores (W) valores, ao nível de 95 % de probabilidade.

Ao realizar-se a seleção genética simultânea para maior HT, menor RP e menor FV, verifica-se na Figura 2 que os melhores clones seriam os indicados pelos números 4, 26, 32 e 33. Observa-se que esses mesmos clones também seriam selecionados, na serraria, para os caracteres TB e FT. Essa coincidência confirma a possibilidade de seleção indireta, graças às correlações genéticas existentes entre esses caracteres. A seleção genética simultânea no sentido inverso levaria, da mesma forma, à identificação dos piores clones, identificados pelos números 7, 28 e 38.

Observa-se também que, em geral, os clones que apresentam os menores valores de RP são os mesmos que apresentam, no desdobro, os menores valores de FV, excetuando-se o clone 19.

A associação de TB e FT, para a qual foi obtido um coeficiente de correlação genética de 0,75,

visto na Tabela 4, é muito interessante porque indica a possibilidade real de se obter peças mais longas e ao mesmo tempo menos empenadas, culminando, portanto, num maior rendimento de peças de melhor qualidade. Entretanto, o número de exceções aumenta consideravelmente em virtude da provável influência de grã entrecruzada. Isto pode ocorrer porque a grã entrecruzada dificulta de forma decisiva o surgimento de rachaduras na madeira e, de forma menos importante, o empenamento.

## CONCLUSÕES

As rachaduras e empenamentos da madeira serrada verde são caracteres altamente herdáveis e podem ser selecionados geneticamente no campo pelas rachaduras de toras, ou na serraria, pela flecha da costaneira ou do vigote desta, sem afetar o melhoramento genético para o diâmetro. A seleção pela rachadura de extremidade de tora é vantajosa em relação às flechas porque elimina as etapas subseqüentes de desdobro, mas é mais sensível ao erro experimental.

As correlações fenotípicas entre as rachaduras de extremidades de tora e o diâmetro da árvore, que foram altamente significativas, refletem uma influência ambiental muito forte, destacando-se a competição entre as árvores como uma das mais importantes.

Não foi encontrada nenhuma correlação genética entre o diâmetro da árvore e as propriedades tecnológicas da madeira associadas à tensão de crescimento. Dessa forma, pode-se proceder a um programa de melhoramento para essas características sem prejuízo da produtividade, inclusive, dentro de programas de melhoramento que já estão em andamento e ainda baseados unicamente nas características dendrométricas.

A seleção genética indireta de clones potenciais para serraria através do fator de estabilidade é um meio de se reduzir o nível da tensão de crescimento da árvore de forma rápida e não destrutiva.

A posição ao longo do fuste da árvore não influenciou a intensidade de rachaduras de toras e a flecha do vigote da costaneira, mas teve influência significativa sobre a intensidade de rachadura de tábuas. Nos dois primeiros casos, a influência da altura foi mascarada pela interação entre altura e clone, fato esse que força o estudo de todas alturas ao longo do fuste, antes da seleção. No caso da rachadura de tábuas, a análise da primeira tora já é suficiente para a seleção, uma vez

que a seção crítica foi a seção da primeira tora da árvore.

A metodologia desenvolvida no presente trabalho permite selecionar clones para serraria com grande segurança. No caso em questão, os clones 4, 26, 32 e 33 foram eleitos como os melhores, tanto do ponto de vista de crescimento quanto de qualidade para serraria. Da mesma forma foram eleitos como piores, os clones 7, 28 e 38.

---

## AUTORES E AGRADECIMENTOS

LOTHAR SCHACHT é M.Sc. em Ciências Florestais - ESALQ/USP - Rua Dr. Getúlio Vargas, 2578 - Ibirama/SC - 89140-000 - E-mail = ltschacht@hotmail.com

JOSÉ NIVALDO GARCIA é Prof. Dr. do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP - Caixa Postal 9 - Piracicaba, SP - 13400-970 - E-mail = jngarcia@carpa.ciagri.usp.br

ROLAND VENCOVSKY é Prof. Titular do Departamento de Genética da ESALQ/USP, Caixa Postal 83 - Piracicaba, SP - 13400-970

Os autores agradecem à Champion Papel e Celulose Ltda pelo material fornecido e pelo apoio integral recebido durante a coleta de dados em campo. Agradecem também à Serraria da ESALQ e do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo pelo apoio no processamento mecânico das toras.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARCHER, R.R. On the distribution of the growth stresses: part 3- the case of inclined grain. *Wood science and technology*, v.13, p.67-78, 1979.
- BARISKA, M. A method for predicting timber quality in eucalypts. In: VON GADOW, K.; BREDEKAMP, B.V. *Management of Eucalyptus grandis in South Africa*. Stellenbosch: Southern African Institute of Forestry, 1990. p.215-228.
- BARNACLE, J.E. Rapid effect of drying on development of heart cracks. *Australian forestry*, v.35, n.4, p.251-257, 1971.
- BOUVET, J.M. Effect of spacing on juvenile growth and variability of *Eucalyptus* clones. *Canadian journal of forest research*, v.27, p.174-179, 1997.
- BOX, G.E.P.; COX, D.R. An analysis of transformation. *Journal of the Royal Statistical Society B*, v.26, p.211-243, 1964.
- BOYD, J.D. Tree growth stresses: 2- the development of shakes and other visual failures in timber. *Australian journal of applied science*, v.1, p.296-312, 1950.
- BURDON, R.D.; SHELBOURNE, C.J.A. The use of vegetative propagation for genetic and physiological information. *New Zealand journal of forestry science*, v.4, n.2, p.418-425, 1974.
- CHAFE, S.C. Variations in longitudinal growth stress, basic density and modulus of elasticity with height in the tree. *Australian forest research*, v.11, n.1, p.79-82, 1981.
- CHEW, V. *Comparisons among treatment means in an analysis of variance*. Washington: USDA, 1977. 64p.
- DINWOODIE, J.M. Growth stresses in timber: a review of literature. *Forestry*, v.39, n.2, p.162-170, 1966.

- FERNANDES, P.S. *Variações de densidade da madeira e suas relações com as tensões de crescimento em progênies de Eucalyptus urophylla S.T.Blake*. Piracicaba: ESALQ/USP, 1982. 85p. Tese (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.
- FERRAND, J.C. Etude des contraintes de croissance: 3-*Eucalyptus delegatensis* et *Eucalyptus nitens*, influence de la sylviculture et de la station. *Annales des sciences forestières*, v.39, n.4, p.355-378, 1982.
- FERRAND, J.C. Growth stresses and silviculture of eucalypts. *Australian forest research*, v.13, n.1, p.75-81, 1983.
- GARCIA, J.N. *Estado de tensão em árvores e de deformação em peças de madeira serrada*. São Paulo, 1992. 234p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica. Universidade de São Paulo.
- GARCIA, J.N. Técnicas de desdobro de eucalipto. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, São Paulo, 1995. *Anais*. Piracicaba: IPEF/IPT, 1995. p. 59-67.
- GUENEAU, P.; SAURAT, J. Growth stresses in beech. *Wood science and technology*, v.10, n.2, p.111-123, 1976.
- HASLETT, A.N. A guide to handling and grade-sawing plantation-grown eucalypts. *Forest Research Institute bulletin*, n.142, p.1-72, 1988.
- HILLIS, W.E. Wood quality and utilization. In: HILLIS, W.E.; BROWN, A.G. *Eucalypts for wood production*. Adelaide: CSIRO, 1984. p.259-289.
- HSU, J.C. *Multiple comparisons: theory and methods*. New York: Chapman & Hall, 1997. 277p.
- JOUREZ, B. Le bois de tension: 1- définition et distribution dans l'arbre. *Biotechnologie, agronomie, société et environnement*, v.1, n.2, p.100-112, 1997.
- KEMPTHORNE, O. *An introduction to genetic statistics*. New York: John Wiley, 1969. 545p.
- KUBLER, H. Growth stresses in trees and related wood properties. *Forest products abstracts*, v.10, n.3, p.61-119, 1987.
- LAUSBERG, M.J.F.; COWN, D.J.; GILCHRIST, K.F.; SKIPWITH, J.H.; TRELOAR, C.R. Physiological aging and site effects on wood properties of *Pinus radiata*. *New Zealand journal of forestry science*, v.25, n.2, p.189-199, 1995.
- LIBBY, W.J.; JUND, E. Variance associated with cloning. *Heredity*, v.17, p.553-540, 1962.
- MALAN, F.S. The reduction of high levels of growth stress in *Eucalyptus grandis*: is tree breeding our only solution? *Wood Southern Africa*, v.12, n.10, p.19-20, 1987.
- MALAN, F.S. Relationships between growth stress and some tree characteristics in South African grown *Eucalyptus grandis*. *South African forestry journal*, n.144, p.43-46, 1988.
- MALAN, F.S. *Studies on the phenotypic variation in growth stress intensity and its association with tree and wood properties of South African grown Eucalyptus grandis (Hill ex Maiden)*. Stellenbosch, 1984. 258p. Tese (Doutorado) - University of Stellenbosch.
- MALAN, F.S. The wood properties and qualities of three South African grown eucalypt hybrids. *South African forestry journal*, n.167, p.35-44, 1993.
- MALAN, F.S.; HOON, M. Effect of initial spacing and thinning on some wood properties of *Eucalyptus grandis*. *South African forestry journal*, v.163, p.13-20, 1992.
- NICHOLLS, J.W.P.; PEDERICK, L.A.; BROWN, A.G. A summary of the ortet-ramet relationship in wood characteristics of *Pinus radiata*. *Appita*, v.30, n.6, p.496-502, 1977.
- NICHOLSON, J.E. Growth stress differences in eucalypts. *Forest science*, v.19, n.3, p.169-174, 1973.
- NICHOLSON, J.E.; HILLIS, W.E.; DITCHBURNE, N. Some tree growth wood property relationships of eucalypts. *Canadian journal of forest research*, v.5, n.3, p.424-432, 1975.
- PONCE, R.H. Eucalipto como madeira serrada. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA FLORESTAL, 1, Belo Horizonte, 1993. *Anais*. Belo Horizonte: SIF, 1993. p.79-86.
- PURNELL, R.C. Variation in wood properties of *Eucalyptus nitens* in a provenance trial on the eastern transvaal highveld in South Africa. *South African forestry journal*, n.144, p.10-22, 1988.
- SATTERTHWAITE, F.E. An approximate distribution of estimates of variance component. *Biometrics bulletin*, v.2, p.110-114, 1946.
- SCHACHT, L. *Varição de caracteres e suas implicações para o melhoramento genético da madeira serrada em Eucalyptus urophylla*. Piracicaba: ESALQ/USP, 1998. 58p. Tese (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo.
- SCHACHT, L.; GARCIA, J.N. Variação entre e intra clones nas rachaduras de topo em *Eucalyptus urophylla*. In: CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTOS, Salvador, 1997. *Anais*. Colombo: EMBRAPA/CNPQ, 1997. p.401-404.

- SKOLMEN, R.G. Lumber potential of 12-year-old saligna eucalyptus trees in Hawaii. *USDA. Forest Service. PSW research note*, n.288, , p.1-7, 1974.
- STAPE, J.L. *Utilização do delineamento sistemático tipo "leque" no estudo de espaçamentos florestais*. Piracicaba: ESALQ/USP, 1995. 86p. Tese (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo.
- SWEET, G.B.; HARRIS, J.M. Wood properties of *Pinus radiata*: seed grown trees compared with grafts from different-aged ortets. *New Zealand journal of forest science*, v.6, n.1, p.114-121, 1976.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. *Genética biométrica no fitomelhoramento*. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 486p.
- VIGNOTE, S.; MOLINERO, I.; GERARD, J.; DIETZ, M.R. Estudio de las tensiones de crecimiento del *Eucalyptus globulus* Labill en Galicia y su relación con las características de la estación y morfológicas del propio árbol. *Investigación agrária: sistemas y recursos forestales*, v.5, n.1, p.153-176, 1996.
- WALKER, J.C.F. Characteristics of stemwood and their manipulation. In: WALKER, J.C.F.; BUTTERFIELD, B.G.; LANGRISH, T.A.G.; HARRIS, J.M.; UPRICHARD, J.M. *Primary wood processing: principles and practice*. London: Chapman & Hall, 1993. p.153-196.
- WATT, M.P.; DUNCAN, E.A.; ING, M; BLAKEWAY, F.C.; HERMAN, B. Field performance of micropropagated and macropropagated Eucalyptus hybrids. *South African forestry journal*, v.173, p.17-21, 1995.
- YAO, J. Relationships between height and growth stresses within and among white ash, water oak, and shagbarl hickory. *Wood science*, v.11, n.4, 246-251, 1979.
- ZOBEL, B.; JETT, J.B. *Genetics of wood production*. Berlin: Springer Verlag, 1995. 337p.

• **TRABALHOS DE PESQUISA** • EFEITO DA CAMADA DE RESÍDUOS FLORESTAIS NA COMPACTAÇÃO DO SOLO CAUSADA PELO TRANSPORTE PRIMÁRIO DA MADEIRA. • *FERNANDO SEIXAS; EZÉR DIAS DE OLIVEIRA JÚNIOR; CÍNTIA RODRIGUES DE SOUZA* • CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA RADICULAR EM POVOAMENTOS DE EUCALIPTOS PROPAGADOS POR SEMENTES E ESTACAS. • *SÉRGIO LUÍS DE MIRANDA MELLO; JOSÉ LEONARDO DE MORAES GONÇALVES; LUIS EUGÊNIO GONÇALVES DE OLIVEIRA* • NÍVEIS CRÍTICOS DE FÓSFORO NO SOLO E NAS FOLHAS PARA A IMPLANTAÇÃO DE *EUCALYPTUS GRANDIS* HILL EX MAIDEN, EM QUATRO TIPOS DE SOLOS. • *JOÃO JOSÉ ISMAEL; SÉRGIO VALIENGO VALERI; LENINE CORRADINI; SÍLVIO FERNANDES ALVARENGA; CELINA FERRAZ DO VALLE; MANOEL EVARISTO FERREIRA; DAVID ARIIVALDO BANZATTO* • ADIÇÃO DE NUTRIENTES AO SOLO EM SISTEMA AGROFLORESTAL DO TIPO “CULTIVO EM ALÉIAS” E EM CERRADO NA REGIÃO DE BOTUCATU, SP. • *ÁLVARO LUIZ MAFRA; ANDREAS ATILA DE WOLINSK MIKLÓS; HUGO LUIZ VOCURCA; ALEXANDRE HUMBERTO HARKALY; EDUARDO MENDOZA* • VARIAÇÃO GENÉTICA DE INDICADORES DE TENSÃO DE CRESCIMENTO EM CLONES DE *EUCALYPTUS UROPHYLLA*. • *LOTHAR SCHACHT; JOSÉ NIVALDO GARCIA; ROLAND VENCOVSKY* • ESTABILIDADE DIMENSIONAL DO COMPENSADO UTILIZANDO RESINA DE ALTA REATIVIDADE. • *DIMAS AGOSTINHO DA SILVA; IVAN TOMASELLI; SETSUO IWAKIRI* • DURABILIDADE NATURAL DE 46 ESPÉCIES DE MADEIRA AMAZÔNICA EM CONTATO COM O SOLO EM AMBIENTE FLORESTAL. • *MARIA APARECIDA DE JESUS; JOSÉ WELLINGTON DE MORAIS; R. LIÉGE SOUZA DE ABREU; MARIA DE FÁTIMA C. CARDIAS* • ESTIMATIVAS E TESTES DA DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DIAMÉTRICA PARA *EUCALYPTUS CAMALDULENSIS*, ATRAVÉS DA DISTRIBUIÇÃO  $S_B$ , POR DIFERENTES MÉTODOS DE AJUSTE. • *JOSÉ ROBERTO S. SCOLFORO; AGUINALDO THIERSCHI* • AVALIAÇÃO DE IMAGENS-ÍNDICE E IMAGENS-PROPORÇÃO NA IDENTIFICAÇÃO DE PLANTIOS FLORESTAIS DESFOLHADOS POR GEADAS E PELO ATAQUE DE INSETOS. • *FLÁVIO JORGE PONZONI* • COMPARANDO TRÊS MÉTODOS DE AMOSTRAGEM: MÉTODOS DE DISTÂNCIAS, CONTAGEM DE QUADRATS E CONGLOMERADO ADAPTATIVO. • *ILKA AFONSO REIS; RENATO MARTINS ASSUNÇÃO* • PROGRAMAS EDUCATIVOS COM FLORA E FAUNA (EXPRESSIONES DA BIODIVERSIDADE) E A EDUCAÇÃO AMBIENTAL. • *JOÃO LUIZ PEGORARO; MARCOS SORRENTINO* • **COMUNICAÇÕES** • ZONEAMENTO ECOLÓGICO DAS BACIAS DO PARANÁ E ALTO PARAGUAI (MS) PARA *EUTERPE EDULIS* MART. • *OMAR DANIEL; SÍLVIO NOLASCO OLIVEIRA NETO*