

Estimativas dos parâmetros genéticos
para seleção de árvores de *Eucalyptus*Estimates of genetic parameters
for selection of trees in *Eucalyptus*Cristiano Bueno de Moraes¹, Thiago Fernandes Brizolla²,
Lorena Gama Teixeira³, Léo Zimback⁴, Evandro Vagner Tambarussi⁵,
Raul Chaves⁶, Mário Luiz Teixeira de Moraes⁷ e Edson Seizo Mori⁸**Resumo**

O gênero *Eucalyptus* é a folhosa mais plantada no Brasil e no mundo. A espécie *Eucalyptus grandis* uma das mais importantes comercialmente do gênero, está plantada na forma de clones e de seus híbridos interespecíficos. Espécies florestais possuem ciclos vegetativos longos prolongando o tempo das avaliações genéticas nos programas de seleção e melhoramento genético. Dessa forma, este estudo teve como objetivo analisar as correlações entre as idades juvenis (dois a três anos) e corte (seis a sete anos) da espécie *E. grandis*, para reduzir o tempo das gerações em programas de melhoramento genético, utilizando seleção precoce. Os experimentos foram implantados em duas regiões edafoclimáticas, a primeira no município de Angatuba-SP e a outra em Lençóis Paulista-SP. O delineamento estatístico foi o de tratamentos casualizados em blocos, com 10 repetições, seis plantas/parcela, com um total de 76 progênies. As características silviculturais avaliadas foram: diâmetro à altura do peito (DAP), altura da planta (ALT), além do volume de madeira (VOL). As avaliações foram realizadas durante quatro anos consecutivos (2, 3, 4 e 5 anos) em Lençóis Paulista (Local 2), sendo que em Angatuba (Local 1) foram realizadas avaliações anuais do segundo ao sexto ano. Os dados coletados foram analisados pelo programa estatístico SELEGEN. Os resultados indicaram que a seleção precoce para volume de madeira pode ser realizada aos dois anos, com uma correlação genética de 0,83 com a idade de corte aos seis anos, atingindo o valor de 0,93 na idade de três com seis anos. Estas altas correlações indicam que na metade do ciclo da cultura, quase toda seleção realizada é aproveitada para o final da rotação.

Palavras-chave: Melhoramento; correlação; seleção de árvores.

Abstract

Eucalyptus grandis is the most commonly cultivated species in commercial stands in Brazil and throughout the world. The species is planted as a cultivar, by seed, e also by clonal plantings of its interspecific hybrids. The study have as objective to analyze the correlations between juvenile and at the end of rotation, aiming to get support for procedures of early selection in forest tree breeding programs. The experiments were set up in two trials in two localities: Angatuba and Lençóis Paulista, both in São Paulo State, Brazil. The experimental design was randomized blocks, with 10 replications, six plants per plot, 3 x 2 spacing and 76 progenies. The diameter at breast height, plant height, and wood volume were the studied traits. The

¹Doutor em Ciência Florestal. UNESP – Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho” / FCA - Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu - Fazenda Experimental Lageado, Rua José Barbosa de Barros, 1780 - 18.610-307 - Botucatu, SP, Brasil. E-mail: cb_moraes2004@yahoo.com.br.

²Mestre em Ciência Florestal - UNESP – Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho” / FCA - Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu - Fazenda Experimental Lageado, Rua José Barbosa de Barros, 1780 - 18.610-307 - Botucatu, SP, Brasil.

³Graduanda de Engenharia Florestal. UFT - Universidade Federal de Tocantins, Campus de Gurupi. Rua Badejós, Lote 7, Chácaras 69/72, Zona Rural, 77402-970 - Gurupi - TO, Brasil. E-mail: lorena_gama93@hotmail.com

⁴Pesquisador Científico. IF Instituto Florestal de São Paulo. Floresta Estadual de Botucatu, Avenida José Ítalo Bacchi s/n, Aeroporto - 18603-970 - Botucatu, SP - Brasil.

⁵Professor Adjunto do Departamento de Biologia. UFSCar – Universidade Federal de São Carlos, Campus Sorocaba, Rod. João Leme dos Santos, Km 110 - 18052-780, Sorocaba, SP – Brasil. E-mail: tambarussi@gmail.com

⁶Engenheiro Florestal. Duratex- Agudos, SP - Brasil.

⁷Professor Titular. UNESP – Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho” / FEIS - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Ilha Solteira, SP – Brasil

⁸Professor Titular do Departamento de Melhoramento Vegetal. UNESP – Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho” / FCA - Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu - Fazenda Experimental Lageado, Rua José Barbosa de Barros, 1780 - 18.610-307 - Botucatu, SP, Brasil.

evaluations were made through the consecutive years (2, 3, 4, and 5 of age) in Lençóis Paulista (Locality 2), and in Angatuba (Locality 1) where annual evaluations from the second to the sixth years of age were done. The results have shown that early selection for wood volume can be done by the 2 years of age, with 0.83 of genetic correlation with the age of final rotation (6 years), and it reaches the value of 0.93, between 3 and 6 years of age, meaning that at half rotation, almost all the selection can be done for the final of rotation.

Keywords: improvement; correlation; plants selection.

INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro vem se expandindo nestes últimos anos, somando atualmente aproximadamente 6,7 milhões/ha de florestas plantadas com 76,6% do gênero *Eucalyptus*, 23,4% de *Pinus* (ABRAF, 2013).

Dentro das diversas espécies do gênero *Eucalyptus* uma que sempre teve destaque é a espécie *Eucalyptus grandis*. Ocorre naturalmente na Austrália na região compreendida entre as latitudes 32° 51' a 17° S. Desenvolve-se em solos profundos e vulcânicos nas margens dos rios e encostas dos estados de New South Wales e Queensland, onde a pluviosidade varia entre 1.000 e 1.800 mm anuais (BORGES; BRUNE, 1983; FONSECA et al., 2010). É uma das espécies comerciais mais plantadas no Brasil e atualmente tem sido usada como genitora para a produção de híbridos interespecíficos, principalmente em cruzamentos com as espécies *E. urophylla* e *E. camaldulensis*, entre outras, gerando produtividade de madeira entre 35 a 55 m³/ha/ano (FOELKEL, 2007).

As estimativas dos parâmetros genéticos (como o coeficiente de variação genética, a herdabilidade e as correlações genéticas) são de grande utilidade no planejamento dos programas de melhoramento, direcionando os procedimentos de seleção de indivíduos superiores com características importantes para o melhoramento (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992; ZIMBACH et al., 2011; ZOBEL; TALBERT, 1984).

O ciclo produtivo do eucalipto é longo constituindo-se em um dos principais fatores que limitam o avanço nos programas de melhoramento. Dessa maneira, a utilização de uma metodologia para reduzir o tempo para obtenção de novas gerações deve ser buscada nos programas de seleção, para aumentar a eficiência no processo de seleção (BORRALHO et al., 1992). Dentre as principais alternativas para o estudo da redução do tempo com seleção de materiais superiores estão as estimativas de correlações genéticas nas diferentes idades (KAGEYAMA; VENCOVSKY, 1983; LAMBETH, 1980; MAGNUSSEN, 1988).

Assim, a seleção precoce pode ser avaliada em idades mais jovens e usados como preditores na idade final da rotação da cultura, incrementando os ganhos genéticos em menor tempo e diminuindo os custos dos programas de melhoramento (MORAES et al., 2014; PEREIRA et al., 1997; REZENDE et al., 1994).

Portanto, o objetivo do estudo foi estimar as correlações entre as idades juvenis e adultas com finalidade de seleção precoce de materiais genéticos superiores de *E. grandis* para a continuidade do programas de melhoramento florestal da espécie.

MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram instalados em duas fazendas pertencentes à empresa florestal Duratex S.A., localizadas nos municípios de Angatuba e Lençóis Paulista, Estado de São Paulo em fevereiro de 1988. Estes municípios estão situados em uma região que compreende uma grande variedade de tipos de solos, incluindo areias quartzosas, solos podzólicos e latossolos com grande variação de textura, profundidade e fertilidade. O clima é subtropical úmido com uma estação seca nos meses de maio a julho, sendo, janeiro e fevereiro os de maior precipitação.

O material genético utilizado é proveniente de um pomar de sementes clonal (PSC), situado na Fazenda Morro D'Ouro em Botucatu/SP, cuja procedência é Coffs Harbour – Austrália. O delineamento experimental foi o de tratamentos em blocos casualizados, com 10 repetições, seis plantas por parcela, no espaçamento de 3 x 2 m, com um total de 76 progênies de *E. grandis*.

As características silviculturais avaliadas foram: crescimento em diâmetro à altura do peito (DAP); crescimento em altura de plantas (ALT) e volume de madeira (VOL), calculado segundo a equação:

$$VOL (m^3) = [0,027196645 * (DAP^{1,752458725}) * (ALT^{1,264704686})] / 1000$$

Os dados foram analisados pelo programa Selegen-REML-BLUP (Resende, 2006), utilizando o modelo matemático: $y = Xr + Za + Wp +$

Ti + e, em que γ é o vetor de dados, r é o vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados à média geral, a é o vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (assumidos como aleatórios), p é o vetor dos efeitos de parcela (assumidos como aleatórios), i é o vetor dos efeitos da interação genótipo x ambiente (aleatórios) e e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios).

As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos. X, Z, W e T são matrizes de incidência conhecidas, formadas por valores zero e um, as quais associam as incógnitas r , a e p ao vetor de dados γ , respectivamente. A metodologia de modelos mistos permite estimar r pelo procedimento de quadrados mínimos generalizados e prever a e p pelo procedimento BLUP (Unbiased). Através de algoritmos EM realiza-se o procedimento REML (Restricted Maximum Likelihood) ou método da máxima verossimilhança, em que as resoluções de matrizes geram estimativas de efeitos ajustados dos vetores calculados. Foram calculados os seguintes parâmetros genéticos:

a) Variância genética aditiva ($\hat{\sigma}_a^2$)

$$\hat{\sigma}_a^2 = [\hat{a}' A^{-1} \hat{a} + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr} (A^{-1} C^{22})] / q;$$

b) Variância ambiental entre parcelas ($\hat{\sigma}_c^2$)

$$\hat{\sigma}_c^2 = [\hat{c}' \hat{c} + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr} C^{33}] / s_1;$$

c) Variância residual (ambiental + não aditiva) ($\hat{\sigma}_e^2$)

$$\hat{\sigma}_e^2 = [y'y - \hat{r}' X'y - \hat{a}' Z'y - \hat{c}' W'y] / [N - r(x)]$$

em que: C^{22} , C^{33} , C^{44} e C^{55} vem da inversa de C
C: matriz dos coeficientes das equações de modelo misto

tr: operador traço matricial

$r(x)$: posto da matriz X

N, q, s: números de dados, de indivíduos e de parcelas, respectivamente;

d) Variância fenotípica individual ($\hat{\sigma}_f^2$):

$$\hat{\sigma}_f^2 = \hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_c^2 + \hat{\sigma}_e^2;$$

e) Herdabilidade individual no sentido restrito, ou seja, dos efeitos aditivos:

$$\hat{h}_a^2 = \frac{\hat{\sigma}_a^2}{\hat{\sigma}_f^2};$$

f) Herdabilidade da média de progênies:

$$\hat{h}_{mp}^2 = \frac{(1/4) \cdot \hat{\sigma}_a^2}{(1/4) \cdot \hat{\sigma}_a^2 + \frac{\hat{\sigma}_c^2}{r} + \frac{(0,75 \cdot \hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_e^2)}{n \cdot r}};$$

g) Herdabilidade aditiva dentro de parcela:

$$\hat{h}_{ad}^2 = \frac{0,75 \cdot \hat{\sigma}_a^2}{0,75 \cdot \hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_e^2};$$

h) Coeficiente de variação genética aditiva individual:

$$CV_{gi}(\%) = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_a^2}}{\hat{m}} \cdot 100;$$

i) Coeficiente de variação genotípica entre progênies:

$$CV_{gp}(\%) = \frac{\sqrt{0,25 \cdot \hat{\sigma}_a^2}}{\hat{m}} \cdot 100;$$

j) Coeficiente de variação experimental:

$$CV_e(\%) = \frac{\sqrt{[(0,75 \cdot \hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_e^2) / n] + \hat{\sigma}_e^2}}{\hat{m}} \cdot 100;$$

k) Acurácia da seleção de progênies, assumindo sobrevivência completa:

$$r_{aa} = \sqrt{\hat{h}_{mp}^2};$$

l) Correlações entre idades: foram estimadas pelas equações de Lambeth, segundo Resende (2007), utilizando os modelos 105 e 102 do programa SELEGEN.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As herdabilidades ao nível de média de progênies obtidas ano a ano para o local Angatuba foram as que apresentaram maiores valores para o caráter (DAP) diâmetro à altura do peito (0,55 a 0,62) e VOL (0,48 a 0,57) em relação a Lençóis Paulista (DAP: 0,25 a 0,27 e VOL: 0,36 a 0,39). Para o caráter ALT não houve grandes diferenças (0,31 aos dois anos e 0,51 aos seis anos em Angatuba), de modo que os valores de Lençóis Paulista apresentaram-se intermediários em relação aos de Angatuba (Tabela 1). Tal fato indica alto controle genético para a seleção, podendo, dessa forma, selecionar plantas individuais superiores. Os valores de herdabilidades no nível de média de progênies DAP e de ALT estão de acordo com Kageyama e Vencovsky (1983), os quais estudaram progênies de *E. grandis* aos 30 meses de idade. Martins et al. (2001), em seus estudos envolvendo progênies de meios irmãos de *E. grandis*, encontraram valores de herdabilidade média de progênies para ALT e DAP iguais a 0,68 e 0,69 respectivamente, sendo valores maiores dos encontrados neste estudo. No presente trabalho, as herdabilidades foram classificadas de acordo com a interpretação de Resende (1995) que considera herdabilidades

de 0,01 a 0,15 como baixas; de 0,15 a 0,50 são medianas; e acima de 0,50 altas.

A herdabilidade no sentido restrito ao nível de plantas individuais para o caráter volume de madeira (VOL) foi de 0,11 e a herbabilidade dentro das parcelas foi de 0,08, variando tanto entre locais como entre idades.

Na região de Lençóis Paulista ficou evidente a heterogeneidade ambiental dentro dos experimentos. Essa heterogeneidade foi maior dentro dos blocos afetando as estimativas do efeito de progênies. Dessa forma, esse local deve ser menos indicado para a seleção. Não houve um padrão de acréscimo ou decréscimo de herdabilidade ao passar dos anos em nenhum local, oscilando de um ano para outro no que diz respeito ao DAP e VOL.

A acurácia (r_{aa}), que representa a relação entre o valor genético verdadeiro e o estimado, foi adequada para o volume de madeira, variando de 59 a 75%. Isso indica boa precisão no acesso à variação genética verdadeira a partir da variação fenotípica observada para o caráter. O valor da acurácia superior a 50% (r_{aa}) está ideal conforme Resende (2007), mostrando uma boa precisão na seleção dos genótipos.

O coeficiente de variação experimental (CV_e %) para o caráter VOL foi o que se apresentou mais elevado em relação os caracteres DAP e ALT, mas ainda estão adequados para as condições de campo em experimentos com *E. grandis*, para todas as idades e ambos os experimentos (Tabela 1). De acordo com Garcia (1989), os coeficientes de variação experimental para espécies florestais, em condições de campo, mesmo em valores superiores aos reportados para outras culturas, revelam boa precisão experimental, devendo ser analisados, separadamente, para cada caráter, idade, tipo e quantidade de tratamentos. Os valores de CV_e variaram de 17,06% a 22,73% para os caracteres, mostrando uma boa precisão dos experimentos conduzidos. Esses valores estão próximos aos encontrados por Mori et al. (1988), Paula et al. (2002) e Rocha et al. (2007), estudando genitores de *E. grandis*, *E. camaldulensis* e *E. urophylla*.

O coeficiente de variação genética, que expressa, em porcentagem da média geral, a quantidade de variação genética entre progênies, foi mais baixo para os três caracteres em relação ao individual para plantas (CV_{gi}). O caráter VOL está indicando boa variação genética entre as progênies (11,09% a 17,11%), portanto mostrando potencial para a seleção (Tabela 1). Segundo Sebbenn et al., (1999) o coeficiente de

variação genética é um parâmetro de grande importância em programas de melhoramento, por permitir um ganho adicional pela seleção dentro de progênies. A magnitude das estimativas do coeficiente de variação fenotípica dentro de progênies reforça a hipótese da eficiência de ganhos em trabalhos de melhoramento.

A relação entre o coeficiente de variação genética e o coeficiente de variação experimental foi estimada para todos os caracteres, nos dois locais e nas idades, mostrando sempre valores mais altos para o caráter VOL na região de Angatuba, indicando que esta é a melhor condição para a seleção. Quando a relação do coeficiente de variação genético e o coeficiente de variação ambiental aproxima-se de valores maiores ou iguais a um, caracteriza-se uma situação favorável para a prática da seleção (CRUZ et al., 2004). As correlações genéticas e fenotípicas entre as idades para os caracteres DAP, ALT e VOL para os três experimentos implantados em Angatuba (Tabela 2) e em Lençóis Paulista (Tabela 3) mostram potencialidades na utilização de seleção precoce em programas de melhoramento genético.

Considerando o caráter DAP, as correlações genéticas e fenotípicas entre as diferentes idades foram altas na localidade de Angatuba. Individualmente para os três experimentos estudados as correlações fenotípicas entre a idade dois anos (precoce) e seis anos (idade de corte), não houve significativas diferenças de estimativas das correlações. As correlações fenotípicas médias variaram de 0,73 entre as idades dois e cinco anos, até 0,91 entre as idades quatro e seis anos. Sendo que a melhor entre a idade juvenil e adulta foi de 0,83 entre três e seis anos e 0,79 entre dois a seis anos.

Quanto às correlações genéticas médias, as estimativas variaram desde 0,85, para as idades de dois e cinco anos, a 0,98 para três e quatro anos, com a melhor correlação juvenil e adulta (0,86) para as idades de dois e seis anos. Todavia, estas correlações melhoram substancialmente (0,94) aos três e aos seis anos (Tabela 2). Individualmente por experimento as correlações não variaram muito.

Para ALT, a melhor correlação genética (0,90) foi entre as idades de quatro e seis anos e a pior (0,69) foi entre dois e seis anos e a melhor correlação fenotípica média dos três experimentos foi entre as idades de quatro e cinco anos (0,82). As correlações fenotípicas médias entre as idades juvenis e adultas não foram muito altas, sendo de 0,56 (entre dois e seis anos) e de 0,66

Tabela 1. Estimativas de herdabilidade ao nível de indivíduos não ajustada (h^2_a), ajustada (h^2_{aj}) e ao nível de média de progênes, (h^2_{mp}), acurácia ao nível de progênes (r_{aa}), herdabilidade aditiva dentro de progênes (h^2_{ad}), coeficientes de variação genética ao nível de indivíduos ($CV_{gi}\%$) e de progênes ($CV_{gp}\%$), coeficiente de variação experimental ($CV_e\%$), coeficiente de variação relativa (CV_r) e médias dos caracteres DAP, altura (ALT) e volume de madeira (VOL), considerando médias de três testes de progênes de *Eucalyptus grandis* e dois locais, entre os 5 anos de avaliações.

Table 1. Heritability estimates of unadjusted level of individuals (h^2_a), adjusted (h^2_{aj}) and the mean level of progenies (h^2_{mp}) accuracy level progenies (r_{aa}), additive heritability within progenies (h^2_{ad}), coefficients of genetic variation at an individual level ($CV_{gi}\%$) and progeny ($CV_{gp}\%$) experimental variation coefficient (CV_e); relative coefficient of variation (VSC) and DAP means of characters, height (ALT) and timber volume (VOL) considering means of three tests of *Eucalyptus grandis* progenies and two locations, between 5 years of assessments.

Parâmetros Genéticos	Caráter diâmetro à altura do peito (DAP cm)								
	Idade (Anos)								
	2		3		4		5		6
	Angatuba	Lençóis	Angatuba	Lençóis	Angatuba	Lençóis	Angatuba	Lençóis	Angatuba
h^2_a	0,0952	0,0281	0,0967	0,0236	0,1160	0,0264	0,1201	0,0253	0,1037
h^2_{aj}	0,0969	0,0282	0,0981	0,0237	0,1171	0,0265	0,1206	0,0254	0,1041
h^2_{mp}	0,5598	0,2782	0,5493	0,2453	0,5829	0,2739	0,6156	0,2657	0,5832
r_{aa}	0,7458	0,5169	0,7352	0,4789	0,7559	0,5188	0,7805	0,5099	0,7604
h^2_{ad}	0,0747	0,0213	0,0758	0,0179	0,0911	0,0200	0,0937	0,0192	0,0805
$CV_{gi}\%$	5,95	4,77	6,50	4,63	7,22	5,29	8,15	5,28	8,09
$CV_{gp}\%$	2,97	2,38	3,25	2,31	3,61	2,64	4,07	2,64	4,04
$CV_e\%$	8,22	12,04	9,02	12,85	9,17	13,55	9,84	13,82	10,51
Média (cm)	9,48	9,37	12,18	11,34	12,91	12,81	14,24	13,60	14,57

Parâmetros Genéticos	Caráter altura (ALT m)								
	Idade (Anos)								
	2		3		4		5		6
	Angatuba	Lençóis	Angatuba	Lençóis	Angatuba	Lençóis	Angatuba	Lençóis	Angatuba
h^2_a	0,0843	0,0444	0,0563	0,0548	0,0669	0,0454	0,0852	0,0356	0,0921
h^2_{aj}	0,0453	0,0456	0,0615	0,0582	0,0728	0,0459	0,0898	0,0358	0,0944
h^2_{mp}	0,3131	0,3646	0,3792	0,4044	0,3985	0,3903	0,4410	0,3369	0,5137
r_{aa}	0,5428	0,6006	0,6157	0,6352	0,6219	0,6229	0,6336	0,5782	0,7085
h^2_{ad}	0,0346	0,0346	0,0468	0,0443	0,0558	0,0348	0,0694	0,0271	0,0731
$CV_{gi}\%$	3,24	3,38	3,35	4,20	3,67	4,73	4,42	4,44	1,71
$CV_{gp}\%$	1,62	1,69	1,67	2,10	1,83	2,36	2,21	2,22	2,52
$CV_e\%$	8,08	7,05	6,78	8,04	7,01	9,30	7,50	9,80	7,45
Média (m)	10,69	12,81	17,09	17,02	19,60	19,80	21,44	21,31	24,17

Parâmetros Genéticos	Caráter volume de madeira (VOL m ³)								
	Idade (Anos)								
	2		3		4		5		6
	Angatuba	Lençóis	Angatuba	Lençóis	Angatuba	Lençóis	Angatuba	Lençóis	Angatuba
h^2_a	0,1059	0,0461	0,0826	0,0412	0,1034	0,0477	0,0865	0,0452	0,1066
h^2_{aj}	0,1122	0,0464	0,0849	0,0414	0,1077	0,0480	0,0888	0,0455	0,1082
h^2_{mp}	0,5090	0,3831	0,4760	0,3638	0,5187	0,3914	0,4896	0,3942	0,5693
r_{aa}	0,6993	0,6127	0,6788	0,5981	0,7115	0,6192	0,6910	0,6262	0,7501
h^2_{ad}	0,0873	0,0353	0,0655	0,0314	0,0837	0,0365	0,0686	0,0345	0,0839
$CV_{gi}\%$	11,66	11,09	11,57	11,20	13,87	12,84	14,29	13,22	17,11
$CV_{gp}\%$	5,83	5,54	5,78	5,60	6,93	6,42	7,14	6,61	8,55
$CV_e\%$	17,06	21,78	18,44	23,09	20,19	24,84	22,15	25,77	22,73
Média (m ³)	0,0403	0,0534	0,1061	0,1018	0,1409	0,1558	0,1893	0,1929	0,2343

Tabela 2. Correlações genéticas (r_a), acima da diagonal, e fenotípicas (r_r), abaixo da diagonal, entre as idades 2, 3, 4, 5 e 6 anos para os caracteres diâmetro à altura do peito (DAP cm), altura de plantas (ALT m) e volume de madeira (VOL m³) para os 3 experimentos implantados em Angatuba - SP (local 1).

Table 2. Genetic correlations (r_a), above the diagonal, and phenotypic (r_r), below the diagonal, between ages 2, 3, 4, 5 and 6 years for the characters diameter at breast height (DBH cm), plant height (ALT m) and wood volume (VOL m³) for 3 experiments deployed in Angatuba - SP (site 1).

	Anos	ra														
		DAP					ALT					VOL				
		2	3	4	5	6	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6
rf	2	-	0,93	0,91	0,85	0,86	-	0,76	0,74	0,76	0,69	-	0,91	0,87	0,85	0,83
	3	0,86	-	0,98	0,93	0,94	0,64	-	0,78	0,82	0,82	0,84	-	0,95	0,94	0,93
	4	0,87	0,91	-	0,96	0,96	0,63	0,78	-	0,88	0,90	0,87	0,90	-	0,97	0,97
	5	0,73	0,75	0,83	-	0,97	0,50	0,61	0,75	-	0,92	0,74	0,77	0,85	-	0,97
	6	0,79	0,83	0,91	0,85	-	0,56	0,66	0,82	0,80	-	0,80	0,84	0,93	0,86	-

Tabela 3. Correlações genéticas (r_g), acima da diagonal, e fenotípicas (r_f), abaixo da diagonal, entre as idades 2, 3, 4, 5 e 6 anos para os caracteres diâmetro à altura do peito (DAP cm), altura de plantas (ALT m) e volume de madeira (VOL m³) para os 3 experimentos implantados em Lençóis Paulista – SP (local 2).

Table 3. Genetic correlations (r_g), above the diagonal, and phenotypic (r_f), below the diagonal, between ages 2, 3, 4, 5 and 6 years for the characters diameter at breast height (DBH cm), height plants (ALT m) and wood volume (VOL m³) for 3 experiments deployed in Lençóis Paulista - SP (site 2) .

		ra											
		DAP				ALT				VOL			
	Anos	2	3	4	5	2	3	4	5	2	3	4	5
rf	2	-	0,96	0,90	0,85	-	0,91	0,87	0,82	-	0,93	0,88	0,83
	3	0,97	-	0,96	0,93	0,91	-	0,94	0,90	0,95	-	0,96	0,94
	4	0,92	0,94	-	0,96	0,85	0,90	-	0,95	0,91	0,95	-	0,97
	5	0,84	0,86	0,86	-	0,77	0,82	0,84	-	0,83	0,86	0,86	-

(entre três e seis anos). Trabalhando com estes mesmos experimentos Zimback et al. (2011) obtiveram correlações genéticas acima de 0,81 de DAP e altura com volume em todas as idades nos experimentos, sendo esperada boa resposta correlacionada na seleção para volume.

Evidentemente, o caráter que melhor representa os ganhos comerciais é o VOL. Para este caráter as melhores correlações (0,83) ocorreram entre a idade mais juvenil (dois anos) e a de final de rotação (seis anos); este conhecimento pode ser de fundamental importância para o melhorista na condução de seu programa caso esteja trabalhando com tal característica. Existe uma boa correlação que pode ser usada em seleção precoce nos programas de melhoramento genético para a espécie *E. grandis*. No entanto, considerando a metade da rotação, ou seja, três anos, a correlação genética com a idade final de rotação melhora substancialmente para 0,93. Isto indica que praticamente todos os indivíduos com os melhores VOL na idade de três anos são os mesmos no final da rotação.

A seleção precoce é uma boa ferramenta e pode ser usada com grande eficiência para a seleção de caracteres de crescimento em programas de melhoramento florestal (PEREIRA et al., 1997; MASSARO et al., 2010).

CONCLUSÕES

As progênies estudadas mostraram que a população de *E. grandis* apresenta variabilidade genética e é potencial para a continuidade das seleções recorrentes em programa de melhoramento genético.

A seleção precoce pode ser realizada na idade de 2 anos com uma correlação genética de 0,83 para o caráter volume de madeira, e atinge o valor de 0,93 no terceiro ano. Considerando que a idade final da rotação comercial da cultura é de 6 a 7 anos, o terceiro ano é menor ou igual à me-

tade da rotação, podendo-se diminuir muito o tempo dos ciclos recorrentes de melhoramento.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à empresa florestal Duratex S.A. pela concessão dos dados experimentais e à CAPES pela bolsa de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. *Anuário Estatístico: Ano base 2012*. 2013. Disponível em: < www.abraflor.org/estatistica/anuário >. Acesso em: 10 jul. 2014.
- BORGES, R. C. G.; BRUNE, A. Heritability estimates and correlations between characters in *Eucalyptus grandis*. *Silvicultura*, São Paulo, v. 8, n. 31, p. 525-527, 1983.
- BORRALHO, N. M. G.; COTERRILL, P. P.; KANOWISKI, P. J. Genetic control of growth of *Eucalyptus globulus* in Portugal. II Efficiencies of early selection. *Silvae Genética*, Frankfurt, >v. 41, n. 2, p. 70-77, 1992.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa: Editora UFV, 2004. v. 1, 480 p.
- FOELKEL, C. As plantações de florestas no Brasil. In: BORÉM, A. (Ed.). *Biotecnologia florestal*. Viçosa: Suprema Gráfica e Editora, 2007. p. 13-24.
- FONSECA, S. M.; RESENDE, M. D. V.; ALFENAS, A. C.; GUIMARÃES, L. M. S.; ASSIS, T. F.; GRATTAPAGLIA, D. *Manual prática de melhoramento genético do eucalipto*. Viçosa: Editora UFV, 2010.
- GARCIA, C. H. Tabelas para classificação do coeficiente de variação. *Circular Técnica IPEF*, n 171, 1989. 12 p.

- LAMBETH, C. C. Juvenile-mature correlations in Pinaceae and implications for early selection. **Forest Science**, Bethesda, v. 26, n. 4, p. 571-580, 1980.
- KAGEYAMA, P.; VENCOSKY, R. Variação genética em progênies de uma população de *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden. IPEF, Piracicaba, v. 24, p. 9-26, 1983.
- MARTINS, I. S.; MARTINS, R. C. C.; CORREIA, H. S. Comparação entre seleção combinada e seleção direta em *Eucalyptus grandis*, sob diferentes intensidades de seleção. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 36-43, 2001.
- MASSARO, R. A. M.; BONINE, C. A. V.; SCARPINATI, E. A.; PAULA, R. C. Viabilidade de aplicação da seleção precoce em testes clonais de *Eucalyptus* spp. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 597-609, 2010.
- MORAES, C. B.; FREITAS, T. C. M.; PIERONI, G. B.; ZIMBACK, L.; RESENDE, M. D. V.; MORI, E. S. Estimativas dos parâmetros genéticos para seleção precoce de clones de *Eucalyptus* para região com ocorrência de geadas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 102, p. 219 - 227, 2014.
- MORI, E. S.; KAGEYAMA, P.; FERREIRA, M. Variação genética e interação progênies x locais em *Eucalyptus urophylla*. IPEF, Piracicaba, n. 39, p. 53-63, 1988.
- MAGNUSSEN, S. Minimum age-to-age correlations in early selections. **Forest Science**, Bethesda, v. 34, n. 4, p. 928-938, 1988.
- PAULA, R. C.; PIRES, I. E.; BORGES, R. C. G.; CRUZ, C. D. Predição de ganhos genéticos em melhoramento florestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 2, p. 159-165, 2002.
- PEREIRA, A. B.; MARQUES, J. R. O. G.; RAMALHO, M. A. P.; ALTHOFF, P. Eficiência da seleção precoce em famílias de meios irmãos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, avaliadas na região noroeste do Estado de Minas Gerais. **Revista Cerne**, Viçosa, v. 3, n. 1 p. 67-81, 1997.
- RESENDE, M. D. V. SELEGEN-REML/BLUP: Sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 359 p.
- RESENDE, M. D. V. **Software SELEGEN-REML/BLUP**. Campo Grande: Embrapa, 2006. 299 p.
- RESENDE, M. D. V. Delineamento de experimentos de seleção para maximização da acurácia seletiva e do progresso genético. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 19, n. 4, p. 479-500, 1995.
- REZENDE, G. D. S. P.; BERTOLUCCI, F. L. G.; RAMALHO, M. A. P. Eficiência da seleção precoce na recomendação de clones de eucalipto avaliados no norte do Espírito Santo e sul da Bahia. **Revista Cerne**, Viçosa, v. 1, n. 1, p. 45-50, 1994.
- ROCHA, M. G. B.; PIRES, I. E.; ROCHA, R. B.; XAVIES, A.; CRUZ, C. D. Seleção de genitores de *Eucalyptus grandis* e de *Eucalyptus urophylla* para produção de híbridos interespecíficos utilizando REML/BLUP e informação de divergência genética. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 977-987, 2007.
- SEBBENN, A. M.; SIQUEIRA, A. C. M. F.; KAGEYAMA, P. Y.; DI DIO JUNIOR, O. J. Variação genética entre e dentro de populações de amendoim - *Pterogyne nitens*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 56, p. 29-40, 1999.
- VENCOSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética Biométrica no Fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496 p.
- ZIMBACK, L.; MORI, E. S.; BRIZOLLA, T. F.; CHAVES, R. Correlações entre caracteres silviculturais durante o crescimento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 57-67, 2011.
- ZOBEL, B.; TALBERT, J. **Applied forest tree improvement**. New York: John Wiley & Sons, 1984. 496 p.

Recebido em 30/12/2013

Aceito para publicação em 06/08/2014

