

# PARÂMETROS GENÉTICOS E GANHOS NA SELEÇÃO EM TESTE DE PROGÊNIES DE POLINIZAÇÃO ABERTA DE *Eucalyptus pellita*, EM BATATAIS–SP<sup>1</sup>

## GENETIC PARAMETERS AND GAINS WITH THE SELECTION IN OPEN POLLINATED PROGENY TEST OF *Eucalyptus pellita*, IN BATATAIS–SP

Marcelo ZANATA<sup>3</sup>; Miguel Luiz Menezes FREITAS<sup>3, 4</sup>;  
Morgana Tramontini SILVA<sup>2</sup>; Eurípedes MORAIS<sup>3</sup>;  
Antonio Carlos Scatena ZANATTO<sup>3</sup>; Alexandre Magno SEBBENN<sup>3, 5</sup>

**RESUMO** – Os objetivos deste estudo foram estimar parâmetros genéticos, ganhos na seleção e avaliar o desenvolvimento silvicultural da espécie em um teste de progênies de *Eucalyptus pellita*, aos 23 anos de idade, estabelecido em Batatais, SP. Foram testadas 25 progênies de polinização aberta de árvores amostradas da Austrália. O teste de progênies foi instalado em 1986, no delineamento experimental de blocos ao acaso, com parcelas de uma planta e 100 repetições. Em 2009, foram avaliados a altura, o diâmetro à altura do peito – DAP, a forma do fuste e a sobrevivência. Aos 23 anos de idade, a sobrevivência foi de 69%, que pode ser considerada satisfatória, visto que o ensaio não foi desbastado. Os incrementos médios anuais foram altos em DAP (1,14 cm), altura (0,89 m), volume (0,0316 m<sup>3</sup>/árvore), indicando alto potencial silvicultural nesse local. Os coeficientes de variação genética e de herdabilidade em altura, em nível de média de progênies ( $h_m^2$ ), foram altos (mínimos de 5,7% e 0,85, respectivamente). Isso indica que o material tem potencial para ser melhorado geneticamente via seleção entre progênies. Ganhos genéticos foram estimados considerando-se a seleção sequencial entre e dentro de progênies. Os resultados mostraram a possibilidade de se capitalizar grandes progressos genéticos em todos os caracteres avaliados (29,1% a 85,4%). Esses ganhos foram estimados para plantios desse material com 23 anos de idade, em ambientes com características edafoclimáticas similares às da região de estudo e realizados com sementes originadas do presente teste após a seleção entre e dentro de progênies.

Palavras-chave: conservação genética; melhoramento florestal; variabilidade genética.

**ABSTRACT** – The study was established to estimate genetic parameters and expected gains through selection, as well as to evaluate the silvicultural potential of *Eucalyptus pellita*, at 23 years of age in Batatais, São Paulo State, Brazil. Twenty five open-pollinated families sampled from the natural forest in Australia were tested. The trial was established in 1986 in a randomized block design with single plant plots replicated 100 times. In 2009, height, diameter at breast height, stem form and survival were assessed and the volume was estimated. The 69% survival rate was considered to be satisfactory, since it had never been thinned. The annual growth rate was high in DBH (1.14 cm), height (0.89 m), and volume (0.0316 m<sup>3</sup>/tree), indicating its high silvicultural potential on the site. The genetic variation and heritability in height at family level ( $h_m^2$ ) were high (minimum of 5.7% and 0.85, respectively). This indicated the high potential of the material for further improvement through family selection. The estimates of genetic gains through sequential selection among and within families ranged from 29.1% to 85.4% in all traits. These are expected in stands of this material at 23 years of age on a similar site.

Keywords: genetic conservation; genetic variability; tree breeding.

<sup>1</sup>Recebido para análise em 10.02.10. Aceito para publicação em 20.07.10.

<sup>2</sup>Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Avenida Luiz de Camões, 2090, 88520-000 Lages, SC, Brasil.

<sup>3</sup>Instituto Florestal Rua do Horto, 931,02377-000 São Paulo, SP, Brasil.

<sup>4</sup>Autor para correspondência: Miguel Luiz Menezes Freitas – miguelmfreitas@yahoo.com.br

<sup>5</sup>Autor para correspondência: Alexandre Magno Sebbenn – alexandresebbenn@yahoo.com.br

## 1 INTRODUÇÃO

O sucesso do setor florestal brasileiro advém de florestas plantadas, em especial a partir de espécies introduzidas. Apesar de ser um setor relativamente novo no Brasil, cerca de um século, apresenta crescimento e sucesso contínuos. Segundo dados da Aracruz (2008), *Eucalyptus* é o gênero de plantas arbóreas com a maior área plantada no Brasil (aproximadamente 3,5 milhões de hectares).

*Eucalyptus* é um gênero da família Mirtaceae, com mais de 600 espécies descritas, originárias, sobretudo, da Austrália e da Indonésia. As espécies de *Eucalyptus* apresentam-se como grande alternativa para a produção de madeira nos próximos anos e as indústrias deste setor já apostam na sua disponibilidade para os futuros suprimentos de matéria-prima. Seu uso é real, de múltiplas utilidades e fácil trabalhabilidade, com boas respostas ao melhoramento genético, bem como já se tem conhecimento de sua silvicultura e o manejo de várias espécies do gênero. O cultivo da espécie é amplamente voltado para fornecimento de celulose e energia, por isso são florestas jovens, de ciclo curto e de rápido crescimento. As indústrias moveleiras e de construção civil estão em busca de novas espécies com a possibilidade de utilização intensiva da madeira de *Eucalyptus* nos seus produtos, tendo conseguido resultados satisfatórios. Contudo, na utilização da madeira para fins mais nobres, é necessário aprimorar, ainda mais estes estudos, avaliando a qualidade da madeira e incorporá-las aos programas de melhoramento genético e de manejo da floresta (A madeira..., 2001).

No Brasil, algumas espécies desse gênero se destacam com maior interesse econômico, como é o caso de *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. saligna*, amplamente cultivado pela indústria de papel e celulose. Ainda assim, há a busca por novas espécies que possam se tornar promissoras, tendo como primeiro desafio nesta busca à definição de quais espécies merecem maior atenção,

e então realizar maiores estudos sobre estas e estabelecer programas de melhoramento genético para potencializar seu desenvolvimento. A partir dessas considerações, alguns estudos vêm sendo realizados sobre *Eucalyptus pellita* F. Muell., que apresenta como característica ser uma espécie com excelente forma do fuste, sendo reto até meia altura da árvore. A espécie pode superar 40 m de altura e 1 m de diâmetro à altura do peito (DAP), chegando a atingir uma altura entre 13 e 15m aos três anos e meio de idade. Em regiões onde não ocorrem geadas severas, às quais a espécie não é resistente, o *E. pellita* pode ser considerado como uma espécie promissora (Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais – IPEF, 2009). Um estudo realizado na região dos Tabuleiros Costeiros do Estado do Sergipe, objetivando testar procedências para a seleção de populações base de programas de melhoramento genético para solos de baixa fertilidade, mostrou que o desenvolvimento do *E. pellita*, pela avaliação de caracteres quantitativos silviculturais, que a mesma foi melhor que as procedências de *E. grandis* (PRL – África do Sul), *E. urophylla* (Camacua–SP) e *E. brassiana* (IPEF/Na – 09), aos 30 meses de idade. Outro estudo realizado em dois locais na Indonésia (Kalimantan e Sumatra), com o intuito de avaliar uma população melhorada de *E. pellita*, obtiveram ganhos em altura e diâmetro de 16 e 19%, respectivamente. Os resultados obtidos neste estudo confirmaram que a primeira geração do programa de melhoramento de árvores de *E. pellita* foi eficaz na Indonésia, e que deve fornecer sementes melhoradas para plantações comerciais, aumentando sua produtividade (Leksono et al., 2008).

A madeira de *E. pellita* é fácil de trabalhar e tem bom acabamento, quando comparada com outras espécies do gênero, podendo ser usada para pisos, revestimentos, painéis, soleiras, construção e estruturas. A espécie é moderadamente resistente a *Cryphonectria cubensis* (fungo causador do cancro do eucalipto). *E. pellita* tem crescimento inferior às espécies mais utilizadas no Brasil como *E. saligna*, *E. grandis* e híbridos como *Eucalipto urograndis*. Ocorre que pouco se fez em relação ao seu melhoramento genético até o momento (Foelkel, 2009).

Este estudo objetivou estimar parâmetros genéticos, ganhos na seleção e avaliar o desenvolvimento silvicultural da espécie, com base em um teste de progênies de polinização aberta, aos 23 anos de idade, estabelecido em Batatais, SP, visando melhorar o crescimento da espécie, aumentando sua produtividade de tal forma que silvicultores tenham maior rentabilidade.

Os objetivos específicos foram: *i*) estimar coeficientes de variação genética e de herdabilidades para caracteres de crescimento e forma; *ii*) estimar coeficientes de correlações fenotípicos e genéticos entre caracteres de crescimento, e *iii*) quantificar os progressos esperados com a seleção sequencial entre e dentro de progênies.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Local de Ensaio, Amostragem e Delineamento Experimental

As 25 progênies testadas são originadas de polinização aberta de árvores matrizes selecionadas em duas populações da Austrália: Helenvale (9 progênies) e Corn (16 progênies). O teste de procedências e progênies foi instalado em 1986, na Floresta Estadual de Batatais, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude 20°53'28"S e longitude 47°35'06"W, altitude de 862 m. O clima em Batatais é classificado como tropical (ameno) com inverno seco, precipitação pluvial principalmente de novembro/março e temperatura média anual de 21 °C. Toda a área está localizada na Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí-Mirim.

O delineamento experimental utilizado para o ensaio foi o de blocos ao acaso. As parcelas foram compostas por uma planta, em espaçamento 4 m x 4 m, com 100 repetições e bordadura dupla. Em 2009, procedeu-se à coleta dos dados de altura (m), DAP (diâmetro à altura do peito – 1,30 m a partir do solo, cm), forma do fuste [usando-se um sistema de notas, com valores variando de um (pior forma) a cinco (melhor forma)] e sobrevivência.

O volume real foi calculado com a expressão,  $V_r = [\pi(DAP)^2 h F_F] / 4$ , sendo  $h$  a altura e  $F_F$  o fator de forma (0,50, Shimizu e Carvalho, 2000).

#### 3.2 Análise Estatística

Para fins de estimativa da variação entre progênies, dos componentes de variância e dos parâmetros genéticos, as duas populações foram consideradas como uma simples população, devido ao fato de que na população Helenvale foram amostradas apenas nove progênies, o que é um número insuficiente para estimar parâmetros genéticos com precisão.

#### 3.3 Estimativa de Componentes da Variância e Parâmetro Genéticos

Da análise de variância foram estimados os componentes de variância utilizando-se o método REML (*Restricted Maximum Likelihood*) e o programa estatístico SELEGEN (Resende, 2002). Os componentes estimados foram:  $\sigma_p^2$  = variância genética entre progênies;  $\sigma_e^2$  = variância ambiental;  $\sigma_d^2$  = variância fenotípica dentro de progênies. Desses componentes de variância foram estimadas a variância fenotípica total ( $\hat{\sigma}_F^2 = \hat{\sigma}_e^2 + \hat{\sigma}_p^2 + \hat{\sigma}_d^2$ ) e a variância genética aditiva,  $\hat{\sigma}_A^2 = \hat{\sigma}_p^2 / \hat{r}_{xy}$ , sendo  $r_{xy}$  o coeficiente médio de parentesco entre plantas dentro de progênies, o qual foi estimado utilizando-se a expressão:

$$\hat{r}_{xy} = 0,25(1 + \hat{F}_p)[4\hat{s} + (\hat{t}^2 + \hat{t}\hat{s}_s)(1 + \hat{r}_p)] \quad (\text{Ritland, 1989}),$$

em que,  $F_p$  é o coeficiente de endogamia na geração parental,  $s$  é a taxa de autofecundação,  $t$  é a taxa de cruzamento,  $r_s$  é a correlação de autofecundação (mede a variação individual na taxa de cruzamentos), e  $r_p$  é a correlação de paternidade (mede a proporção de irmãos-completos dentro das progênies). Para calcular  $r_{xy}$  foi utilizada a taxa de cruzamento ( $t_m = 0,557$ ) calculada

para a média de três populações de *E. pellita* (House e Bell, 1996). A correlação de paternidade ( $r_p$ ) e a correlação de autofecundação ( $r_s$ ) foram calculadas para a média de apenas cinco espécies, visto que são as únicas estimativas existentes na literatura corrente ( $r_p = 0,390$ ;  $r_s = 0,290$ ). Assumiu-se a ausência de endogamia na geração parental ( $F_p = 0$ ). Isso resultou no coeficiente de parentesco dentro de progênies de 0,576 e a variância genética aditiva foi calculada finalmente por:

$$\hat{\sigma}_A^2 = \hat{\sigma}_p^2 / 0,576.$$

Os coeficientes de herdabilidade, o coeficiente de variação genética e medidas de correlações entre caracteres foram estimados com base em Namkoong (1979). O coeficiente de variação genética foi estimado por:  $CV_g = 100(\sqrt{\hat{\sigma}_p^2})/\bar{x}$ , em que,  $\bar{x}$  é a média do carácter sob consideração. Foram estimados os coeficientes de herdabilidade em nível de plantas individuais ( $h_i^2$ ), média de progênies ( $h_m^2$ ) e dentro de progênies ( $h_d^2$ ), utilizando-se as expressões:

$$\hat{h}_i^2 = \frac{\hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_F^2}, \quad \hat{h}_m^2 = \frac{\hat{\sigma}_p^2}{\hat{\sigma}_p^2 + \frac{\hat{\sigma}_e^2}{J}}, \quad \hat{h}_d^2 = \frac{(1 - \hat{r}_{xy})\hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_d^2},$$

em que  $J$  é o número de repetições. A variância fenotípica dentro, a acurácia seletiva e as herdabilidades para o modelo assumindo que as progênies de polinização aberta são progênies de meios-irmãos foram estimadas utilizando-se o programa SELEGEN (Resende, 2002). Posteriormente, as estimativas de herdabilidades em nível de plantas individuais e dentro de progênies foram corrigidas para o parentesco entre plantas dentro de progênies, conforme descrito anteriormente.

Os ganhos genéticos esperados com a seleção entre e dentro de progênies ( $G_{ed}$ ) foram calculados por:

$$\hat{G}_{ed} = i_e \hat{\sigma}_F \hat{h}_m^2 + i_d \hat{\sigma}_d \hat{h}_d^2,$$

em que,  $i_e$  e  $i_d$  são as intensidades de seleção em unidade de desvio-padrão, aplicada entre progênies e  $\sigma_F$  e  $\sigma_d$  são os desvios-padrão da variância fenotípica total e dentro de progênies, respectivamente. Para a formação de um pomar de sementes por mudas foram selecionadas dez progênies (10:25, 40%  $i_e = 1,331$ ; Hallauer e Miranda Filho, 1988) e quatro plantas dentro de progênies (4:100, 4%  $i_d = 2,1543$ ; Hallauer e Miranda Filho, 1988). Os ganhos esperados na seleção em porcentagem [ $G_{ed}(\%)$ ] foram estimados por:

$$\hat{G}_{ed}(\%) = \frac{100\hat{G}_{ed}}{\bar{x}},$$

em que,  $\bar{x}$  é a média do caráter sob consideração.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Sobrevivência

A taxa de sobrevivência foi de 69% aos 23 anos. Para essa mesma espécie, aos sete anos de idade, crescendo em Lagoa Grande (Minas Gerais), foi encontrada porcentagem de sobrevivência variando de 66,7% a 76,7% (Nova et al., 2003). Em um estudo avaliando diferentes espaçamentos para *Eucalyptus* spp. na região noroeste de Minas Gerais, foi encontrada sobrevivência de 62,74%, 64,68% e 78,66% em espaçamentos de 3 m x 2 m, 6 m x 3 m e 6 m x 2 m, aos 9,4 anos de idade (Magalhães et al., 2006).

Portanto, os resultados indicam que a população de *E. pellita* aqui avaliada apresentou boa adaptação às condições ambientais da região de estudo, pois manteve a média aos 23 anos semelhante às apresentadas por outras espécies em idades menores do que 10 anos.

#### 4.2 Crescimento Médio e Forma do Fuste

A espécie apresentou incremento médio anual – IMA de 1,14 cm em DAP; 0,89 m em altura e 0,0316 m<sup>3</sup> para volume (Tabela 1). Comparando-se o IMA em DAP com o observado em outras espécies em idades próximo aos 23 anos e crescendo em outras regiões, o *E. pellita* apresenta um crescimento intermediário, estando entre os valores determinados para *Eucalyptus* sp. (1,05 cm) (Sebbenn et al., 2008) *Cordia alliodora* (0,51 cm) (Sebbenn et al., 2007); *Eucalyptus camaldulensis* (0,96 cm) (Moraes et al., 2007) que apresentaram resultados inferiores, e *Eucalyptus resinifera* (1,84 cm) (Sato et al., 2007) e *Araucaria cunninghamii* (1,37 cm) (Sebbenn et al., 2005), em que onde os valores foram superiores aos deste ensaio. Diferentemente do que ocorre com o IMA para o DAP, o IMA para altura foi inferior ao detectado em três das quatro espécies comparadas, sendo elas: *Eucalyptus* sp. (1,42 m); *Eucalyptus resinifera* (1,07 m); *E. camaldulensis* (0,94 m) e *Araucaria cunninghamii* (1,16 m),

apresentando-se superior somente às procedências de *Cordia alliodora* da América Central (0,38 m). Resultados semelhantes aos obtidos neste trabalho foram observados para *Pinus caribaea* var. *bahamensis* (Freitas et al., 2007) conforme dados expostos na Tabela 2. Isso indica uma taxa de crescimento satisfatória em DAP e relativamente baixa em altura, comparando-se com as outras espécies. Esse crescimento em DAP é favorável à silvicultura por gerar boa receita anual e indica a possibilidade de se cultivar a espécie com boas perspectivas de ganho em relação a esse caráter, na região de Batatais, embora o crescimento em altura tenha se mostrado inferior. A forma do fuste apresentou média de 2,64 indicando um fuste que tende à tortuosidade, correspondendo a 47% do valor de um fuste ideal (5). Essa forma de fuste foi inferior ao encontrado para *E. camaldulensis* (Santos et al., 2008), que foi considerado regular, apresentando forma de 3,82. O mesmo ocorreu para *P. caribaea* var. *bahamensis*, em que onde a média para as procedências testadas foi de 2,93 (Freitas et al., 2005). Contudo, o caracter forma do fuste pode ser melhorado por seleção, devido à alta herdabilidade deste caracter em espécies arbóreas. Assim, devido à forma do fuste relativamente ruim da população estudada, este caracter deve ser levado em conta no programa de melhoramento genético.

Tabela 1. Média e incremento médio anual para os caracteres DAP, altura, volume e forma do fuste em progênies de *E. pellita*, aos 23 anos, em Batatais, SP.

Table 1. Average and annual growth rate for DBH, height, volume and stem form traits in *E. pellita* families, at 23 years of age, in Batatais, SP.

Parâmetros	DAP (cm)	Altura (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Forma do fuste
Média – $\bar{x}$	26,30	20,41	0,7261	2,64
Incremento médio anual – IMA	1,14	0,89	0,0316	–

Tabela 2. Estimativa de parâmetros genéticos para os caracteres DAP, altura, volume e forma, assumindo progênies de *E. pellita* como meios-irmãos e como misturas de diferentes parentescos devido ao sistema misto de reprodução (SM).

Table 2. Estimates of genetic parameters for DBH, height, volume and stem form traits assuming *E. pellita* families as half-sibs and mixtures of different relatedness due reproduction by mixed mating system (SM).

Parâmetros	DAP (cm)	Altura (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Forma do Fuste
Coefficiente de variação genética – $CV_g$ (%)	10,6	5,7	18,8	6,4
Coefficiente de variação genética aditiva – $CV_A$ (%)	21,2	11,4	37,5	12,8
Herdabilidade entre progênies – $\hat{h}_m^2$	0,9013	0,8493	0,8997	0,8995
Herdabilidade individual (MI) – $\hat{h}_i^2$	0,3347	0,2134	0,3293	0,3285
Herdabilidade individual (SM) – $\hat{h}_i^2$	0,1793	0,1053	0,1757	0,1752
Superestimativa relativa (%)	46,4	46,4	46,4	46,5
Herdabilidade dentro de progênies (MI) – $\hat{h}_d^2$	0,2740	0,1690	0,2691	0,2684
Herdabilidade dentro de progênies (SM) – $\hat{h}_d^2$	0,0673	0,0415	0,0661	0,0659
Superestimativa relativa (%)	75,45	75,45	75,45	75,45
Acurácia seletiva – $Ac$	0,9494	0,9216	0,9485	0,9484

### 4.3 Variação Genética

O coeficiente de variação genética ( $CV_g$ ) variou de 5,7% em altura a 18,8% em volume (Tabela 2). Esses valores são altos se comparados aos demais resultados encontrados na literatura. Considerando a exótica *Pinus* sp., convém citar Sebbenn et al. (2008) que encontrou em *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, aos 20 anos, crescendo em Assis-SP, os valores de coeficientes de variação genética maiores do que a média calculada para diferentes espécies, idades e populações de *Pinus* testados no Brasil, estes valores foram: 5,8% (DAP); 2,6% (altura), e 13,1% (volume). Contudo, apesar de serem os maiores valores encontrados para *Pinus*, ainda são menores que os encontrados neste estudo. Assim, comparando-se com os estudos de *Pinus* realizados no Brasil, pode-se considerar que o *E. pellita*, apresenta altos valores de coeficientes de variação genética. Em *Eucalyptus camaldulensis*, aos 19 anos, em Luiz Antônio-SP,

os valores encontrados foram 3,36%; 5,39%, e 8,80% para altura, DAP e forma, respectivamente. Apesar de serem considerados satisfatórios, também foram menores que os aqui encontrados. Esses resultados indicam que o material tem grande potencial para o melhoramento genético, pois altos coeficientes de variação genética permitem ganhos com a seleção de genótipos superiores. Esta variabilidade genética pode ser explorada pela seleção das melhores progênies e melhores plantas dentro de progênies, para todos os caracteres, principalmente para volume e DAP. A variação genética aditiva ( $CV_A$ ) refere-se à parte da variação genética que é transmitida para a próxima geração (Sebbenn et al., 2008). Os resultados aqui encontrados confirmam a indicação da possibilidade de se obterem ganhos com a seleção genética, que se expressa mais fortemente no caráter volume, seguido pelo DAP, forma do fuste e altura, sugerindo ganhos maiores seguindo esta sequência.

#### 4.4 Coeficientes de Herdabilidade

Os resultados mostraram um alto controle genético para os caracteres em nível de média de progênies. Os coeficientes de herdabilidade, em nível de média de progênies ( $h_m^2$ ), variaram de 0,85 (altura) a 0,90 (DAP). Tais resultados reforçam que substanciais ganhos genéticos podem ser obtidos pela seleção das melhores progênies. Essas herdabilidades em nível de média entre progênies se encontram entre as mais altas detectadas em estudos com espécies de *Eucalyptus* e *Pinus*. Por exemplo, em *Eucalyptus resinifera*, aos 21 anos de idade, crescendo em Luiz Antônio-SP (Sato et al., 2007), as herdabilidades em nível de média de progênies variaram para os caracteres de crescimento de 0,37 (altura) a 0,59 (volume), portanto estes valores foram entre 34 a 56% inferiores aos aqui observados. Em *Pinus patula* var. *tecunumanii*, aos 14 anos de idade, crescendo em São Simão-SP (Sebbenn et al., 2005), a maior herdabilidade em nível de média de progênies foi detectada para o caracter forma do fuste, com valor aproximadamente 53% ( $\hat{h}_m^2 = 0,4199$ ) menor do que o encontrado no presente trabalho. Uma explicação para essas altas herdabilidades é o grande controle ambiental do presente teste, devido ao delineamento utilizado, baseado em parcelas de uma planta e 100 repetições. Outra é a variabilidade natural do material testado, visto que as progênies testadas foram obtidas de populações naturais australianas, não melhoradas, ou ainda devido à mistura de duas procedências.

As estimativas dos coeficientes de herdabilidade, em nível de média de progênies e dentro de progênies, foram substancialmente reduzidas para todos os caracteres, sugerindo, quando as progênies foram consideradas como originadas de sistema misto de reprodução (SM), em relação ao sistema de cruzamentos aleatório (meios irmãos: MI). Nesse caso, sem fazer uso do modelo de correção para o sistema misto de cruzamento, o coeficiente de herdabilidade sofreria uma superestimativa relativa de 46,4%, em nível de plantas individuais, e 75,45% dentro de progênies.

Essas superestimativas foram maiores do que as encontradas por Sebbenn et al., (2008) em *P. caribaea* var. *bahamensis*, crescendo em Assis-SP, aos 22 anos, com valores superestimados em 23% (em nível de plantas individuais) e 31% (dentro de progênies), respectivamente. Assumir progênies de polinização aberta como meios-irmãos pode, portanto, induzir em a erros nas estimativas de variâncias genéticas aditivas e herdabilidades e, conseqüentemente, nas estimativas de ganhos genéticos. Isso, portanto, indica também que a seleção deve se basear nas herdabilidades estimadas assumindo o sistema de cruzamento misto (Freitas et al., 2006). Houve diferenças entre as herdabilidades em nível de planta individual e dentro de progênies, em que os valores em nível de plantas individuais se sobressaíram, sendo aproximadamente 62% maiores. Esses resultados demonstram que, para maior sucesso na seleção, isto é, a seleção massal no experimento poderia ser mais eficiente do que a seleção massal dentro de progênies. Contudo, os valores de herdabilidade encontrados em nível de plantas individuais, assumindo o sistema misto, são de baixa magnitude ( $< 0,2$ ) para todos os caracteres (Freitas et al., 2006), variando entre 0,1053 a 0,1793 (Tabela 2). Tais resultados indicam pequenos progressos genéticos obtidos com a seleção massal dos caracteres no experimento, uma vez que o controle genético é baixo. Entretanto, valores semelhantes para DAP e forma do fuste foram encontrados em espécies de *Pinus* sp. para herdabilidade em nível individual, diferindo apenas no caracter altura, que apresentou média de 0,18. Para obtenção de maiores ganhos com a seleção, neste estudo, a melhor estratégia será proceder com a seleção entre e dentro de progênies, visto que as herdabilidades em nível de média de progênies mostraram valores altos para todos os caracteres avaliados. A acurácia seletiva, que representa a relação entre o valor genético verdadeiro e o estimado, foi alta para DAP, volume e forma do fuste, com valores variando de 92,16% (altura) a 94,94% (DAP). Isso indica alta precisão no acesso à variação genética verdadeira a partir da variação fenotípica observada nos caracteres (Moraes et al., 2007).

#### 4.5 Respostas à Seleção

Como os resultados anteriores demonstraram, os caracteres aqui estudados apresentaram altos valores de resposta à seleção. Já previstos pelo alto coeficiente de variação genética entre progênies, coeficiente de variação genética aditiva e pelos coeficientes de herdabilidade, os resultados dos ganhos esperados com a seleção confirmam a indicação de altos ganhos genéticos, os quais variaram de 29,1% a 85,4% (Tabela 3) para forma e volume, respectivamente. Isso fica mais evidente quando esses resultados são comparados com os obtidos para *P. caribaea* var. *bahamensis*,

por exemplo, em que esses valores variaram de 4,6% a 26,3%, os quais já eram considerados altos (Sebbenn et al., 2008). Tais ganhos foram preditos com base na seleção das dez melhores progênies, seguida da seleção das quatro melhores árvores dentro destas melhores progênies, dando origem a um pomar de sementes por mudas, composto por 40 árvores superiores. Vale ressaltar que esses ganhos preditos são esperados para plantios de *E. pellita*, aos 23 anos de idade, estabelecidos em ambientes com as mesmas características edafoclimáticas da região de Batatais–SP, e realizados com sementes originadas do presente teste, após a seleção entre e dentro de progênies.

Tabela 3. Ganhos genéticos esperados na seleção em porcentagem [ $G_e$  (%)] para DAP, altura, volume e forma em 25 progênies de polinização aberta de *Eucalyptus pellita*, aos 23 anos de idade em Batatais, São Paulo.

Table 3. Genetic gains expected by selection in percentage [ $G_e$  (%)] for DBH, height, volume and stem and form in 25 open-pollinated families of *Eucalyptus pellita*, at 23 years of age in Batatais, São Paulo.

Parâmetro	DAP (cm)	Altura (m)	Volume (m <sup>3</sup> /árvore)	Forma do fuste
Ganho na seleção: $G_{ed}$	11,73	5,80	0,58	0,43
Ganhos esperados com a seleção: $G_{ed}$ (%)	44,6	28,4	79,6	27,1
Média da população: $\bar{x}_{População}$	26,30	20,41	0,7261	2,64
Média da população melhorada: $\hat{x}_{Melhorada} = \bar{x}_{População} + G_{ed}$	38,02	26,21	1,3040	3,07

#### 5 CONCLUSÕES

1. A espécie apresenta condições de ser cultivada na região de Batatais – SP, tendo crescimento e sobrevivência satisfatórios.
2. A população apresenta variação genética em nível de progênies substancialmente alta e um forte controle genético nos caracteres em nível de média de progênies.
3. Os caracteres volume e DAP têm maior controle genético do que forma do fuste e altura.

4. A população testada tem alto potencial para obterem-se ganhos genéticos com a seleção sequencial entre e dentro de progênies.

#### 6 AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos ao Antenor Oliveira da Silva, Paulo Teodoro Ferreira e Dionísio Barbosa, pelo apoio à mensuração do experimento. O autor Alexandre Magno Sebbenn também agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão da bolsa de Produtividade em Pesquisa.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARACRUZ CELULOSE. Centro de Pesquisa e Tecnologia. O que é o eucalipto? In: ARACRUZ CELULOSE. Centro de Pesquisa e Tecnologia. **O eucalipto e meio ambiente em tempos de aquecimento global**. Disponível em: <<http://www.remade.com.br/br/materia.php?num=10&subject=Eucalipto&title=A%20Madeira%20de%20Eucalipto>>. Acesso em: 19 set. 2009.
- FREITAS, M.L.M. et al. Parâmetros genéticos em progênies de polinização aberta de *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, aos 22 anos de idade. **Rev. Inst. Flor.**, v. 17, n. 1, p. 103-111, 2005.
- FREITAS, M.L.M. et al. Variação genética em progênies de *Myracrodruon urundeuva* F.F. & M.F. Allemão em três sistemas de cultivo. **R. Árvore**, v. 30, n. 3, p. 319-329, 2006.
- FREITAS, M.L.M. et al. Pomar de sementes por mudas a partir da seleção dentro em teste de progênies de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. **Rev. Inst. Flor.**, v. 19, n. 2, p. 65-72, 2007.
- FOELKEL, C. **Eucalyptus online book e newsletter** – pergunta 68. 2009. Disponível em: <[www.eucalyptus.com.br/eucaexpert/Pergunta%2068.doc](http://www.eucalyptus.com.br/eucaexpert/Pergunta%2068.doc)>. Acesso em: 25 set. 2009.
- HALLAUER, A.R.; MIRANDA FILHO, J.B. **Quantitative genetics in maize breeding**. Ames: Iowa State University Press, 1988. 468 p.
- HOUSE, A.P.N.; BELL, J.C. Genetic diversity, mating systems and systematic relationship in two red mahoganies, *Eucalyptus pellita* and *E. scias*. **Aust. J. Bot.**, v. 44, p. 157-174, 1996.
- INSTITUTO DE PESQUISAS FLORESTAIS – IPEF. **Chave de identificação de espécies florestais, *Eucalyptus pellita***. Piracicaba, 2004. Disponível em: <[www.ipef.br/identificacao/cief/espécies/pellita.asp](http://www.ipef.br/identificacao/cief/espécies/pellita.asp)>. Acesso em: 19 set. 2009.
- LEKSONO, B.; KURINOBU, S.; IDE, Y. Realized genetic gains observed in second generation seedling seed orchards of *Eucalyptus pellita* in Indonesia. **Journal of Forest Research.**, v. 13, n. 2, p. 110-116, 2008.
- MAGALHÃES, W.M. et al. Desempenho silvicultural de espécies de *Eucalyptus* spp. em quatro espaçamentos de plantio na região noroeste de Minas Gerais. **Floresta e Ambiente**, v. 12, n. 2, p. 1-07, 2006.
- MORAES, M.A. et al. Variação genética para caracteres silviculturais em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus camaldulensis* em Luiz Antônio–SP. **Rev. Inst. Flor.**, v. 19, n. 2, p. 113-118, 2007.
- NAMKOONG, G. **Introduction to quantitative genetics in forestry**. Washington, D.C.: Forest Service, 1979. 342 p. (Technical Bulletin, 1588).
- NOVA, N.A.V.; MOREIRA, P.R.; PEREIRA, A.B. Eficiência de captura de energia solar por um dossel de *Eucalyptus pellita* F. Muell sob várias densidades de plantio. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 11, n. 2, p. 269-264, 2003.
- A MADEIRA de eucalipto. **Revista da Madeira**, n. 59, 2001. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?Num=10&subject=Eucalipto&title=A%20Madeira%20de%20Eucalipto](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?Num=10&subject=Eucalipto&title=A%20Madeira%20de%20Eucalipto)>. Acesso em: 19 set. 2009.
- RESENDE, M.D.V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 975 p.
- RITLAND, K. Correlated matings in the partial selfer *Mimulus guttatus*. **Evolution**, v. 43, p. 848-859, 1989.
- SANTOS, F.W. et al. Variação genética para a densidade básica da madeira e caracteres silviculturais em uma população base de *Eucalyptus camaldulensis* DEHNH. **Rev. Inst. Flor.**, v. 20, n. 1, p. 185-194, 2008.
- SATO, A.S. et al. Seleção dentro de progênies de *Eucalyptus resinifera* aos 21 anos de idade em Luiz Antonio–SP. **Rev. Inst. Flor.**, v. 19, n. 2, p. 93-100, 2007.
- SEBBENN, A.M. et al. Variação genética em procedências e progênies de *Pinus patula* ssp. *tecunumanii* no noroeste do Estado de São. **Rev. Inst. Flor.**, v.17, n. 1, p. 1-15, 2005.

ZANATA, M. et al. Parâmetros genéticos e ganhos na seleção em teste de progênes de polinização aberta de *Eucalyptus pellita*, em Batatais-SP.

SEBBENN, A.M. et al. Results of an international provenance trial of *Cordia alliodora* in São Paulo, Brazil at five and 23 years of age. **Silvae Genetica**, v. 56, p. 110-117, 2007.

\_\_\_\_\_.; VILAS BÔAS, O.; MAX, J.C. Variação genética, herdabilidades e ganhos na seleção para caracteres de crescimento em teste de progênes de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* aos 20 anos de idade em Assis-SP. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 103-115, 2008.

SHIMIZU, J.Y.; CARVALHO, P.E.R. Primeira aproximação na indicação de eucaliptos para produção de madeira na Região de Quaraí, RS. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 40, p. 101-107, 2000.