

ALTAS HERDABILIDADES E GANHOS NA SELEÇÃO PARA CARACTERES DE
CRESCIMENTO EM TESTE DE PROGÊNIES DE POLINIZAÇÃO ABERTA DE
Pinus elliottii Engelm var. *elliottii*, AOS 25 ANOS DE IDADE EM ASSIS-SP*

Alexandre Magno SEBBENN**

Osmar VILAS BÔAS**

José Carlos Molina MAX**

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi estimar parâmetros genéticos para caracteres de crescimento em teste de progênies de polinização aberta de *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii*, aos 25 anos de idade em Assis-SP. O teste foi instalado a partir de 40 progênies de polinização aberta, originadas de árvores selecionadas para alta produção de resina na Floresta Estadual de Assis, utilizando três repetições, dez árvores por parcela, e nove progênies de *P. elliottii* var. *elliottii* selecionadas para produção de resina em Manduri-SP, utilizadas como testemunhas. Foram detectadas diferenças significativas entre progênies para DAP (diâmetro à altura do peito, medido a 1,3 m acima do solo) e altura total, indicando variação genética entre progênies e a possibilidade de obter ganhos pela seleção das progênies mais produtivas. A média de crescimento em DAP e altura das progênies supera a média das testemunhas. A correlação genética entre DAP e altura foi alta e significativa ($r_g = 0,83$; $P \leq 0,01$), mostrando a possibilidade de seleção em um caráter e obtenção de ganho indireto no outro. Os altos coeficientes de variação genética (mínimo $CV_g = 4,56\%$), variação genética aditiva (mínimo $CV_A = 7,97\%$) e de herdabilidades (mínimo $h_m^2 = 0,68$; $h_d^2 = 0,36$), indicam a possibilidade de obter bons ganhos genéticos com a seleção entre e dentro de progênies para DAP (16,7%) e altura (8,6%). Esses ganhos são esperados para plantios com 25 anos de idade, em ambientes similares ao do presente ensaio, e originados de sementes dos cruzamentos das árvores aqui selecionadas.

Palavras-chave: melhoramento florestal; *Pinus*; teste de progênies.

ABSTRACT

The aim of this work was to estimate genetic parameters for growth traits in open-pollinated progenies of *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii* at 25 years old, growing in Assis-SP, Brazil. The trial was established using 40 progenies originated from selected trees for high gum resin yield in the Assis State Forest, three repetitions, ten trees per plot and nine progenies of *P. elliottii* var. *elliottii* selected for gum resin in Manduri-SP, used as control. Significant differences among progenies for diameter at breast height - DBH stand height were detected, indicating genetic variation among progenies and the possibility to obtain gains by selection of the most productive progenies. The average growth for DBH and height of progenies were higher than the average of the control. The genetic correlation between DBH and height was high and significant ($r_g = 0.83$; $P \leq 0.01$) showing the possibility of selection in one trait and to obtain indirect gains in other. The high coefficients of genetic variation (minimum $CV_g = 4.56\%$), genetic additive (minimum $CV_A = 7.97\%$) and coefficients of heritabilities (minimum $h_m^2 = 0.68$; $h_d^2 = 0.36$), indicated the possibility to obtain great genetic gains for DBH (16.7%) and height (8.6%) with the selection among and within progenies. These gains are expected for stands with 25 years of age, growing in environments with the same characteristics of this trial and originated from the mating among the trees selected in this study.

Key words: tree breeding; *Pinus*; progeny test.

(*) Aceito para publicação em junho de 2008.

(**) Instituto Florestal, Caixa Postal 1322, 01059-970, São Paulo, SP, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

As espécies do gênero *Pinus* são muito plantadas no Brasil devido às características de sua madeira e rápido crescimento, apresentando um papel fundamental para a economia do país. Tais espécies são plantadas de Norte a Sul, especialmente pelas indústrias de móveis, resina e papel e celulose. Dentre as espécies mais plantadas nas regiões frias e altas do Sudeste, se destaca o *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii*, que se adaptou bem à estas condições do Brasil, devido às semelhanças edafoclimáticas com as regiões de origem (Romanelli & Sebbenn, 2004). O *P. elliottii* var. *elliottii* é originário da América do Norte. Sua área natural de ocorrência se estende desde a Planície Costeira do sul da Carolina do Sul, 33° de latitude N, até a Flórida Central e sudoeste do estado de Louisiana, a 30° de latitude N (Dorman & Squillace, 1974). Contudo, apesar de sua ampla distribuição geográfica, os poucos testes de procedências realizados no Brasil não detectaram variação genética entre as diferentes origens das sementes para caracteres de crescimento (Araújo, 1980). Por outro lado, testes de progênies com a espécie têm detectado alta variação genética para caracteres de crescimento e produção de resina (Barret & Bengtson, 1964; Squillace, 1965; Squillace & Gansel, 1968; Gurgel Garrido & Kageyama, 1993; Gurgel Garrido *et al.*, 1999; Romanelli & Sebbenn, 2004), demonstrando o alto potencial da espécie para programas de melhoramento genético.

No Estado de São Paulo, o *P. elliottii* var. *elliottii* tem sido plantado principalmente nas regiões frias e altas do sul do estado, devido à maior semelhança ambiental com sua origem. Contudo, alguns plantios foram também estabelecidos em regiões com características ambientais diferentes daquelas da região de origem da espécie na América do Norte, como por exemplo, o cerrado. Isto ocorreu, em parte, devido à qualidade e quantidade de resina produzida por essa espécie. Dentre as espécies do gênero *Pinus* plantadas no Brasil, *P. elliottii* var. *elliottii*, considerado espécie de clima temperado,

é o que produz resina em maior quantidade e de melhor qualidade, superando, inclusive, espécies tropicais como *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, que se adapta bem às regiões quentes do Estado de São Paulo.

No entanto, embora a espécie não seja a mais indicada para plantios em regiões de cerrado, visto o seu crescimento ser mais lento do que o observado em ambientes mais adequados, como locais frios e altos, a alta variação genética detectada dentro das populações da espécie (Gurgel Garrido & Kageyama, 1993; Gurgel Garrido *et al.*, 1999; Romanelli & Sebbenn, 2004), sugere que a mesma tem potencial para ser domesticada também para estas regiões. Uma estratégia de melhoramento pode ser a seleção de árvores superiores em plantios comerciais já estabelecidos em região de cerrado, seguida por testes de progênies, seleção de genótipos mais produtivos para esses ambientes e a produção de sementes melhoradas.

Dentro desse contexto, o objetivo do trabalho foi estimar parâmetros genéticos para caracteres de crescimento e a seleção entre e dentro em teste de progênies de polinização aberta de *P. elliottii* var. *elliottii*, aos 25 anos de idade, crescendo em regiões de cerrado no município de Assis–SP.

2 MATERIAL E MÉTODO

2.1 Local de Ensaio, Amostragem e Delineamento Experimental

O teste de progênies foi implantado na Floresta Estadual de Assis, situada a 22° 35' S e 50° 22' W, altitude média de 562 m. Segundo a classificação de Köppen, a região do estudo se encontra em uma zona de transição climática entre os tipos Cwa e Cfa. A precipitação média anual fica ao redor de 1.400 mm e a temperatura média anual é de 21,8 °C. O solo do local é caracterizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (1999) como Latossolo Vermelho Distrófico álico típico A moderado, textura média.

SEBBENN, A. M.; VILAS BÔAS, O.; MAX, J. C. M. Altas herdabilidades e ganhos na seleção para caracteres de crescimento em teste de progênes de polinização aberta de *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii*, aos 25 anos de idade em Assis-SP.

O teste de progênes foi instalado em março de 1983, com sementes de polinização aberta coletadas de 40 árvores selecionadas fenotipicamente para alta produção de resina em plantios comerciais em Assis, e em nove árvores na Floresta Estadual de Manduri. O delineamento experimental utilizado foi o látice quadrado, com parcelas de 10 plantas em linha, espaçamento 3 x 3 m, em três repetições. Contudo, devido à alta mortalidade, as mudas de Manduri tiveram de ser replantadas aproximadamente um ano após o plantio inicial, ficando o seu crescimento bastante defasado em relação ao material genético selecionado na Floresta Estadual de Assis. Assim, o teste tem sido analisado em blocos ao acaso, usando apenas as 40 progênes de Assis (Gurgel Garrido *et al.*, 1994). Adicionalmente, foram plantadas parcelas com misturas de sementes coletadas de árvores não selecionadas, uma em cada bloco do delineamento em látice, totalizando 21 parcelas. Também foram plantadas três linhas de bordadura externa e duas linhas de bordadura interna entre as parcelas. Em 1996, o ensaio sofreu um desbaste seletivo dentro das parcelas a favor de árvores produtoras de resina. O ensaio foi mensurado em 2008, aos 25 anos de idade, para diâmetro à altura do peito (DAP, medido a 1,3 m acima do solo) e altura total das árvores. Como as correlações entre DAP e altura com a produção de resina são baixas ($r \leq 0,55$), segundo Gurgel Garrido & Kageyama (1993), espera-se que a prévia seleção dentro de parcelas não afete a variação entre progênes.

2.2 Análise de Variância e Estimativa de Componentes de Variância e Parâmetros Genéticos

A análise de variância, em blocos casualizados, foi realizada com base no modelo linear aditivo,

$$Y_{ijk} = \mu + t_i + b_j + e_{ij} + d_{ijk}$$

em que: Y_{ijk} = performance média do k -ésimo indivíduo, do j -ésimo bloco, da i -ésima progênie; μ = média geral da variável em análise; t_i = efeito da i -ésima progênie ($i = 1, 2, \dots, I$); b_j = efeito do j -ésimo bloco ($j = 1, 2, \dots, J$); e_{ij} = efeito da interação entre a i -ésima progênie e o j -ésimo bloco ou

efeito ambiental da ij -ésima parcela; d_{ijk} = efeito da k -ésima árvore dentro da ij -ésima parcela. Todos os efeitos do modelo foram assumidos como aleatórios, sendo: K , o número de árvores por progênes; J , o número de blocos; I , o número de progênes, e \bar{n} , a média harmônica do número de árvores por parcela. As análises de variância foram realizadas utilizando-se o método REML (Restricted Maximum Likelihood), para as estimativas dos componentes de variância, devido ao desbalanceamento experimental quanto ao número de árvores por parcelas. O procedimento REML foi utilizado em combinação com o comando VARCOMP do programa estatístico SAS (SAS, 1999) para obtenção dos componentes de variância.

Das análises de variância foram estimados os componentes: σ_g^2 = variância genética entre progênes; σ_e^2 = variância devido à interação entre progênes e repetições; σ_d^2 = variância devido às diferenças fenotípicas entre árvores dentro de parcelas. Desses componentes de variância foram estimadas a variância fenotípica total ($\hat{\sigma}_F^2 = \hat{\sigma}_d^2 + \hat{\sigma}_e^2 + \hat{\sigma}_p^2$) e a variância genética aditiva, $\hat{\sigma}_A^2 = \hat{\sigma}_p^2 / \hat{r}_{xy}$. O coeficiente médio de parentesco dentro de progênes (r_{xy}) foi calculado por: $\hat{r}_{xy} = 0,25(1 + \hat{F}_p)[4\hat{s} + (t^2 + \hat{r}_s \hat{t})(1 + r_p)]$ (Ritland, 1989), em que F_p é o coeficiente de endogamia na população parental; S é a taxa de autofecundação ($s = 1 - t$); t é a taxa de cruzamento ($t = 1 - s$); r_s é a correlação de autofecundação, e r_p é a correlação de paternidade. Os parâmetros F_p e r_s foram assumidos como zero, devido à falta de informações da espécie. A taxa de cruzamento foi admitida ser de 0,975, conforme estimativa de Squillace & Goddard (1982). A correlação de paternidade foi aceita ser igual à média estimada para diversas espécies do gênero *Pinus*, 0,27 (Sebbenn, 2003). Assim, o coeficiente de parentesco dentro de progênes (r_{xy}) foi estimado em 0,327 e a variância genética aditiva calculada por: $\hat{\sigma}_A^2 = \hat{\sigma}_p^2 / 0,327$. Adicionalmente, para fins de comparação, foram estimadas a variância genética aditiva, herdabilidades e a resposta esperada na seleção,

assumindo que as progênes eram compostas por verdadeiros meios-irmãos, ou seja, que a população de referência era grande, não apresentava endogamia e parentescos e que os cruzamentos eram perfeitamente aleatórios. Portanto, nesse caso foi admitido que o coeficiente de parentesco entre plantas dentro de progênes era de 0,25.

As definições e cálculos dos coeficientes de herdabilidade, coeficientes de variação e medidas de correlações entre caracteres seguem Namkoong (1979). Foram estimados os coeficientes de herdabilidade em nível de plantas individuais (h_i^2), em nível de média de progênes (h_m^2) e dentro de progênes (h_d^2):

$$\hat{h}_i^2 = \frac{\hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_g^2 + \hat{\sigma}_e^2 + \hat{\sigma}_d^2}, \quad \hat{h}_m^2 = \frac{\hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_g^2 + \frac{\hat{\sigma}_e^2}{J} + \frac{\hat{\sigma}_d^2}{\bar{n}J}} \quad \text{e}$$

$$\hat{h}_d^2 = \frac{(1 - r_{xy})\hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_d^2}$$

O coeficiente de variação genética (CV_g) foi estimado por:

$$CV_g = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_g^2}}{\bar{x}} \times 100$$

As correlações fenotípicas e genéticas entre os caracteres DAP e altura foram estimadas dos valores individuais de acordo com as equações,

$$\hat{r}_{P_{xy}} = \frac{\hat{\sigma}_{P_x P_y}}{\sqrt{\hat{\sigma}_{P_x}^2 \hat{\sigma}_{P_y}^2}} \quad \hat{r}_{g_{xy}} = \frac{\hat{\sigma}_{g_x g_y}}{\sqrt{\hat{\sigma}_{g_x}^2 \hat{\sigma}_{g_y}^2}}$$

em que, $r_{P_{xy}}$ e $r_{g_{xy}}$ são os coeficientes de variação fenotípica e genética, $\sigma_{P_x P_y}$ e $\sigma_{g_x g_y}$ são os produtos médios fenotípicos e genéticos dos caracteres x e y , estimados das análises de covariância, $\sigma_{P_x}^2$, $\sigma_{g_x}^2$ e $\sigma_{P_y}^2$, $\sigma_{g_y}^2$ são as variâncias fenotípicas e genéticas dos caracteres x e y respectivamente.

A resposta esperada com a seleção sequencial entre e dentro de progênes (R_{ed}) foi calculada por:

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

em que, i_e e i_d são as intensidades de seleção em unidade de desvio-padrão, aplicada entre e dentro de progênes e σ_F e σ_d são os desvios-padrão da variância fenotípica total e dentro de progênes. Para a formação de um pomar de sementes por mudas foram selecionadas 20 progênes (20:40, 50% - $i_e = 0,782$; Hallauer & Miranda Filho, 1988) e as três melhores árvores dentro das melhores progênes (3:30: 10% - $i_d = 1,540$; Hallauer & Miranda Filho, 1988). A resposta à seleção em porcentagem [$R(\%)$] foi estimada por: $\hat{R}(\%) = 100(\hat{R}_{ed} / \bar{x})$, em que, \bar{x} é a média do caráter.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Variação entre Progênes

O teste F da análise de variância detectou diferenças altamente significativas ($P \leq 0,01$) entre progênes para os caracteres DAP e altura (TABELA 1), indicando a presença de variação genética entre progênes e a possibilidade de serem obtidos progressos genéticos com a seleção. Este ensaio já foi previamente avaliado aos 3,5, 7,5 e 9,5 anos de idade para o caráter produção de resina (Gurgel Garrido *et al.*, 1994), aos 3,5 e 7,5 anos para DAP e aos 7,5 anos para altura (Gurgel Garrido & Kageyama, 1993), tendo revelado, também, diferenças altamente significativas entre progênes. Isso confirma a presença de variação genética entre progênes e que o material tem alto potencial para o melhoramento genético via seleção.

Como esperado, o desbaste seletivo dentro das parcelas a favor de árvores produtoras de sementes, não afetou a variação entre progênes, considerando que foi detectada alta variação genética entre as mesmas aos 25 anos de idade. A causa é a baixa associação aparente entre caracteres de crescimento e produção de resina ($r \leq 0,55$; Gurgel Garrido & Kageyama, 1993), logo a seleção diferencial em um caráter, no caso a produção de resina, teve baixo impacto na variação genética para DAP e altura.

SEBBENN, A. M.; VILAS BÔAS, O.; MAX, J. C. M. Altas herdabilidades e ganhos na seleção para caracteres de crescimento em teste de progênes de polinização aberta de *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii*, aos 25 anos de idade em Assis-SP.

TABELA 1 – Resultados da análise de variância e médias para os caracteres DAP e altura em progênes e testemunhas de *P. elliottii* var. *elliottii*, crescendo em Assis, SP.

Fonte de Variação	DAP (cm)	Altura (m)
Blocos	139,1545**	1,5562
Progênes	72,3383**	7,6428**
Erro entre	17,6936	2,8492
Dentro	21,9455	1,9210
Média das progênes (25 anos)	22,23	13,05
Média das testemunhas (24 anos)	20,61	12,50

** : $P \leq 0,01$.

3.2 Crescimento dos Caracteres

Em média, as 40 progênes selecionadas em Assis tiveram, aparentemente, um crescimento superior tanto para DAP como para altura do que aquele observado nas nove progênes selecionadas em Manduri (testemunhas). Contudo, como previamente destacado, muitas das progênes de Manduri tiveram de ser replantadas, o que ocorreu aproximadamente um ano após o plantio original, portanto, muito possivelmente esta pior performance do material genético de Manduri pode estar associada ao replantio.

Comparando-se os atuais incrementos médios anuais em DAP e altura com os estimados dos dados previamente publicados (TABELA 2) para o mesmo ensaio aos 3,5 (DAP = 1,18 cm) e 7,5 anos de idade (DAP = 1,71 cm; altura = 0,97 m) por Gurgel Garrido & Kageyama (1993), verifica-se uma

substancial redução na taxa de crescimento da espécie. De fato, comparando as médias de crescimento e os incrementos médios anuais observados no presente ensaio aos 3,5, 7,5 e 25 anos de idade com a performance da espécie em outros locais listados na TABELA 2, observa-se que *P. elliottii* var. *elliottii* apresenta uma lenta taxa de crescimento em Assis. Por exemplo, o crescimento em DAP aos 25 anos de idade (22,23 cm) foi maior do que o observado em Itapeva aos 12 anos (18,2 cm) em apenas 18%. *P. elliottii* var. *elliottii* é uma espécie adequada para reflorestamentos em áreas subtropicais ou tropicais úmidas com temperaturas baixas em parte do ano. A região de Assis é típica de cerrado, quente, com baixa precipitação média anual e inverno seco com déficit hídrico, sendo mais adequada para reflorestamentos com espécies de *Pinus* tropicais.

TABELA 2 – Média de crescimento e incremento médio anual (IMA) para DAP e altura em testes de progênes de *P. elliottii* var. *elliottii*, implantados no Estado de São Paulo.

Espécie	Idade (anos)	Local	DAP (IMA, cm)	ALT (IMA, m)	Autor
<i>P. elliottii</i> var. <i>elliottii</i>	25	Assis	22,23 (0,89)	13,05 (0,52)	Esse estudo
<i>P. elliottii</i> var. <i>elliottii</i>	3,5	Assis	6,32 (1,18)	–	Gurgel Garrido & Kageyama (1993)
<i>P. elliottii</i> var. <i>elliottii</i>	7,5	Assis	12,80 (1,71)	7,27 (0,97)	Gurgel Garrido & Kageyama (1993)
<i>P. elliottii</i> var. <i>elliottii</i>	12	Angatuba	18,80 (1,57)	–	Romanelli & Sebbenn (2004)
<i>P. elliottii</i> var. <i>elliottii</i>	12	Itapetininga	19,70 (1,64)	–	Romanelli & Sebbenn (2004)
<i>P. elliottii</i> var. <i>elliottii</i>	12	Itapeva	18,20 (1,52)	–	Romanelli & Sebbenn (2004)

3.3 Correlações Fenotípicas e Genéticas

As estimativas das correlações fenotípicas e genéticas evidenciaram associações positivas, significativas e relativamente altas entre DAP e altura. A correlação fenotípica entre esses caracteres foi 0,53 ($P < 0,01$) e a genética foi 0,83 ($P < 0,01$). Essas correlações sugerem que a seleção em um caráter pode trazer ganhos genéticos indiretos no outro, ou seja, a seleção de progênes com maiores médias de DAP pode indiretamente garantir a seleção de progênes com maiores alturas. Nesse caso, a seleção deve ser realizada para o caráter DAP, considerando-se sua maior precisão e facilidade de mensuração.

3.4 Parâmetros Genéticos

O coeficiente de variação genética (CV_g) observado para DAP e altura foi alto (TABELA 3), se comparado ao observado em outros estudos realizados com espécies do gênero *Pinus*. Romanelli & Sebbenn (2004) relatam CV_g em Angatuba, Itapetininga e Itapeva variando de 2,4% a 3,8% para DAP, em progênes de *P. elliottii* var. *elliottii* aos 12 anos de idade. Freitas *et al.* (2005a) detectaram CV_g de 2,77% para

DAP e 1,9% para altura em progênes de *P. caribaea* var. *bahamensis* aos 22 anos de idade. Freitas *et al.* (2005b) relataram CV_g de apenas 0,31 para DAP, em procedências de *P. caribaea* var. *hondurensis* aos 32 anos de idade. Sebbenn *et al.* (2005) detectaram CV_g de 1,93% para DAP e 1,47% para altura, em procedências e progênes de *P. patula* ssp. *tecunumanii* aos 14 anos de idade. Portanto, fica evidente a grande variação genética presente na população, independentemente do material ter sido selecionado para produção de resina na população base e no desbaste realizado aos 13 anos de idade. Em concordância, a prévia análise deste experimento já havia revelado alta variação genética na população. Gurgel Garrido & Kageyama (1993) detectaram CV_g de 9,46% e 7,5% para DAP, aos 3,5 e 7,5 anos de idade, respectivamente, e 5,32% para altura aos 7,5 anos de idade. Ainda, o coeficiente de variação genética aditiva (CV_A) foi maior do que o coeficiente de variação genética (TABELA 3). O coeficiente de variação genética aditiva refere-se à parte da variação genética que é transmitida para a próxima geração. Os altos valores observados reforçam a idéia de que a presente população tem alto potencial para seleção.

TABELA 3 – Estimativa de parâmetros genéticos para DAP e altura (ALT) em progênes de *P. elliottii* var. *elliottii*, aos 25 anos de idade em Assis, SP.

Parâmetros	Sistema misto		Meios-irmãos	
	DAP	Altura	DAP	Altura
Coefficiente de variação genética – CV_g (%)	8,70	4,56	8,70	4,56
Coefficiente de variação genética aditiva – CV_A (%)	15,22	7,97	17,4	9,1
Herdabilidade individual – \hat{h}_i^2	0,4572	0,4386	0,5977	0,5734
Herdabilidade entre progênes – \hat{h}_m^2	0,7597	0,6762	0,7597	0,6762
Herdabilidade dentro de progênes – \hat{h}_d^2	0,3619	0,3781	0,3907	0,4083
Resposta total à seleção – \hat{R}_{ed} (%)	16,7	8,6	17,7	9,1

Seleção de 50% ($i = 0,782$) das progênes e 10% ($i = 1,54$) das melhores plantas das melhores progênes.

Os coeficientes de herdabilidade foram estimados considerando que as progênes eram originárias de cruzamentos mistos, envolvendo algum grau de autofecundação e cruzamentos correlacionados, portanto eram compostas por misturas de irmãos de autofecundação, meios-irmãos, irmãos-completos e irmãos de autofecundação e cruzamentos, e assumindo que os cruzamentos foram perfeitamente aleatórios e as progênes são compostas por verdadeiros meios-irmãos (TABELA 3). Em todos os casos foram observados altos valores para os coeficientes de herdabilidade ($h^2 \geq 0,3619$), indicando que grande parte da variação fenotípica total e média entre progênes era de origem genética e, portanto, que o controle genético dos caracteres era alto tanto em nível de plantas individuais, como de média entre progênes e dentro de progênes. Esse fato reforça os prévios resultados, como a alta significância do teste F da análise de variância, os altos coeficientes de variação genética e os altos coeficientes de variação genética aditiva, que indicaram alta variação genética na população e o alto potencial desta para a seleção entre progênes e a obtenção de ganhos genéticos. Contudo, adicionalmente, a alta herdabilidade detectada dentro de progênes indica que existem, também, grandes chances de realizar a seleção massal entre plantas dentro de progênes e obter ganhos adicionais à seleção entre progênes.

As estimativas da resposta esperada com a seleção entre e dentro de progênes confirmam as expectativas de se obter altos ganhos genéticos com a seleção (TABELA 3). Assumindo um sistema misto de reprodução para a população comercial de origem das sementes, os ganhos esperados, pela seleção de 50% das mais produtivas progênes e 10% das plantas dentro das melhores progênes, foram de 16,7% para DAP e 8,6% para altura de plantas. Ressalta-se que esses ganhos são esperados para plantios com 25 anos de idade, em ambientes similares ao do presente ensaio.

Finalmente, comparando as estimativas obtidas assumindo o sistema misto e cruzamentos aleatórios, observa-se uma super-estimativa nas herdabilidades em nível de plantas individuais e dentro de progênes. Admitindo que as progênes de polinização aberta são verdadeiras progênes de meias-irmãs, produz uma super-estimativa mínima de 7,34% para o coeficiente de herdabilidade dentro de progênes, 23,5% para o coeficiente de herdabilidade

em nível de plantas individuais, 12,54% para o coeficiente de variação genética aditiva e 5,22% para os ganhos genéticos na seleção. Progênes de polinização aberta, definitivamente, não são progênes de meias-irmãs (Squillace, 1974; Sebbenn, 2003), ainda mais quando são oriundas de plantios comerciais, como neste caso, formados a partir de plantios baseados em sementes de um número limitado de árvores matrizes, portanto, com um certo grau de estruturação genética, gerando endogamia nas sementes por cruzamentos entre parentes. Em suma, as estimativas menores obtidas assumindo as progênes como de sistema misto de reprodução são possivelmente mais realistas.

4 CONCLUSÕES

1. Existem diferenças altamente significativas entre progênes para os caracteres DAP e altura total de plantas, indicando a possibilidade de progressos genéticos com a seleção.
2. O DAP e altura apresentaram correlações fenotípicas e genéticas positivas, significativas e altas, indicando a possibilidade de seleção em um caráter e a capitalização de ganhos genéticos indiretos em outro.
3. O controle genético da expressão fenotípica é alto para DAP e altura de plantas.
4. As estimativas da resposta esperada na seleção para DAP e altura evidenciaram a possibilidade de obter-se substanciais progressos genéticos com a seleção sequencial entre e dentro de progênes.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos aos estudantes de Engenharia Florestal Rafael Alexandre Silvestre, Samuel Carloni e Vagner Aparecido Garosi, pela mensuração do experimento e digitação dos dados. O autor Alexandre Magno Sebbenn agradece ao Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia - CNPq pela concessão da bolsa de produtividade em pesquisa. Os autores também agradecem aos dois revisores anônimos pelas sugestões e correções em uma prévia versão do manuscrito e à Assistente de Pesquisa Científica e Tecnológica Yara Cristina Marcondes pela revisão gramatical do artigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, A. J. **Early results of provenance studies of loblolly and slash pines in Brazil.** 1980. 127 p. Tese (Ph.D.) - Michigan State University, East Lansing.
- BARRET, J. P.; BENGTSON, G. W. Oleoresin yields for slash pines from seven seed sources. **Forest Science**, Bethesda, v. 10, p. 159-163, 1964.
- DORMAN, K. W.; SQUILLACE, A. E. **Genetic of slash pine.** Washington, D.C.: United States Department of Agriculture, Forest Service, 1974. 20 p. (Research Paper WO, 20)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Brasília, DF: EMBRAPA; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1999.
- FREITAS, M. L. M. *et al.* Estimativa de parâmetros genéticos e ganhos na seleção em *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, aos 22 anos de idade. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 103-111, 2005a.
- _____. Teste de procedências de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 32 anos em Bebedouro-SP. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 17-23, 2005b.
- GURGEL GARRIDO, L. M. A.; KAGEYAMA, P. Y. Evolução, com a idade, de parâmetros genéticos de *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm., selecionado para a produção de resina. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 5, p. 21-37, 1993.
- _____.; RIBAS, C.; GARRIDO, M. A. O. Variabilidade da produção de resina em *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 6, p. 113-128, 1994.
- _____.; CRUZ, S. F.; RIBAS, C. Interação genótipos por locais em *Pinus elliottii* var. *elliottii*. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 11, p. 1-12, 1999.
- HALLAUER, A. R.; MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative genetics in maize breeding.** Ames: Iowa State University Press, 1988. 468 p.
- NAMKOONG, G. **Introduction to quantitative genetics in forestry.** Washington, D.C.: Forest Service, 1979. 342 p. (Technical Bulletin, 1588).
- RITLAND, K. Correlated matings in the partial selfer *Mimulus guttatus*. **Evolution**, San Francisco, v. 43, p. 848-859, 1989.
- ROMANELLI, R. C.; SEBBENN, A. M. Parâmetros genéticos e ganhos na seleção para produção de resina em *Pinus elliottii* var. *elliottii*, no Sul do Estado de São Paulo. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 11-23, 2004.
- S.A.S. INSTITUTE INC. **SAS procedures guide. Version 8 (TSMO).** Cary, 1999. 454 p.
- SEBBENN, A. M. Tamanho amostral para conservação *ex situ* de espécies arbóreas com sistema misto de reprodução. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 109-124, 2003.
- _____. *et al.* Variação genética em procedências e progênes de *Pinus patula* ssp. *tecunumanii* no noroeste do Estado de São. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 1-15, 2005.
- SQUILLACE, A. E. Combining superior grown and timber quality with gum yield in slash pine. In: SOUTHERN CONFERENCE ON FOREST TREE IMPROVEMENT, 8., 1965, Savannah, **Proceedings...** Savannah: Georgia Forest Resources Council, 1965. p. 73-76.
- _____. Average genetic correlations among offspring from open-pollinated forest trees. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 23, p. 149-156, 1974.
- _____.; GANSEL, C. R. **Assessing the potential oleoresin yields in slash pine progenies at juvenile ages.** Asheville: United States Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station, 1968. 4 p. (Research Paper SE, 95).
- _____.; GODDARD, R. E. Selfing in clonal seed orchards of slash pine. **Forest Science**, Washington, D.C., v. 28, p. 71-78, 1982.