

## Análise da Variação do Crescimento em Altura de Descendências Maternais de Pinheiro Bravo

Alexandre P. M. António de Aguiar

Eng<sup>o</sup> Silvicultor, Investigador Auxiliar

Estação Florestal Nacional. Tapada das Necessidades, 1300 Lisboa

**Sumário.** As progénies de 46 génotipos de pinheiro bravo provenientes do pomar clonal do Escaroupim (Salvaterra de Magos), foram instaladas em 1987 em três locais. Estimaram-se as componentes da variância, as heritabilidades e os ganhos genéticos referentes ao crescimento em altura nos 1<sup>o</sup>, 2<sup>o</sup> e 5<sup>o</sup> anos em cada local. Neste estudo, comparam-se as estimativas das componentes da variância, e analisam-se as alterações nas heritabilidades calculadas, nos ganhos genéticos e na seriação das melhores famílias cinco anos após a plantação.  
**Palavras-chave:** pinheiro bravo; progénies; componentes da variância; heritabilidade; ganho genético

**Abstract.** Open-pollinated progenies from 46 genotypes of Escaroupim (Salvaterra de Magos) *Pinus pinaster* clonal seed orchard, were established in three definitive locals in 1987. Data was evaluated by analysing variants by analysis of variance. The components of this variance provided the bases for determining heredity and genetic gain for growth on the 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup> and 5<sup>th</sup> years after establishment in each local. This study focuses on the comparisons of the calculated heritabilities and genetic gains. It ranks the families 5 years after planting.  
**Key words:** *Pinus pinaster*; progenies; variance components; heritability; genetic gain

**Résumé.** Des descendances issues de pollinisation libre de 46 clones du verger à graines de pin maritime du Escaroupim (Salvaterra de Magos) ont été installées, en 1987, en 3 lieux. On a estimé les composantes de la variance et les valeurs de l'héritabilité pour le caractère "hauteur des plantes" aux 1<sup>er</sup>, 2<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> années d'installation en chaque lieu. Dans cette étude, on établit des comparaisons des estimatifs des composantes de la variance, et on analyse les altérations survenues dans les valeurs calculées de l'héritabilité, dans les gains génétiques et dans la sériation des meilleurs familles, cinq ans après l'installation.  
**Mots clés:** *Pinus pinaster*; progénies; composantes de la variance; héritabilité; gain génétique

### Introdução

A maximização do potencial produtivo da floresta em Portugal está dependente da aplicação de uma silvicultura adequada (operações e técnicas culturais) e da qualidade de semente utilizada, seja qual for a espécie florestal em causa. Para se obter semente de qualidade, seleccionada e controlada, é necessário desenvolver determinados estudos de base para se adquirir um conhecimento adequado da variabilidade geográfica e genética da espécie.

Nesta perspectiva, ROULUND *et al.* (1988), apresentaram um projecto no qual foram delineadas a estratégia e acções futuras a executar para o prosseguimento de um programa de melhoramento genético do pinheiro bravo, cuja necessidade era, de há muito, reconhecida entre nós. Ainda no âmbito deste projecto foi iniciada a selecção de povoamentos de qualidade para a produção de semente, terminada mais

tarde com o apoio de projectos nacionais ("PIDDAC" e JNICT) e comunitário ("FOREST"), nos quais foram incluídas outras acções de investigação experimental de grande importância, nomeadamente, a selecção de novas árvores "plus", ensaios de proveniência e novos testes de progénie.

Num programa de melhoramento, a fase decisiva é a selecção de génotipos após a determinação do seu valor reprodutivo, isto é, a avaliação da maior ou menor capacidade que um indivíduo tem de transmitir à descendência uma ou mais características, consideradas fundamentais para o melhoramento da população. Por este motivo, quando se utiliza a via sexuada, são indispensáveis os testes de descendência, porque ao proporcionarem o conhecimento do valor genético dos indivíduos, permitem realizar uma selecção eficaz e calcular o ganho genético correspondente.

No âmbito de programas anteriores e com o objectivo de produção de semente seleccionada, foi constituído na Mata Nacional do Escaroupim um pomar clonal de árvores oriundas de selecção fenotípica (árvores "plus") (ALPUIM, 1971). Os clones do referido pomar estão agora a ser testados por intermédio das suas descendências, com o objectivo de calcular a heritabilidade do crescimento, utilizando as estimativas das componentes da variância, e estimar o ganho genético, comparando estes resultados com aqueles que foram obtidos em anos anteriores. Isto corresponde a um segundo ciclo de selecção, em relação ao representado pelo pomar clonal, do qual se esperam ganhos genéticos mais significativos.

## Material e métodos

### *Material genético*

Os pomares de pinheiro bravo da Mata Nacional do Escaroupim (Salvaterra de Magos) são constituídos por clones descendentes de árvores "plus" seleccionadas na Mata Nacional de Leiria. Esta selecção foi efectuada por PERRY e HOPKINS (1967) na década de sessenta e teve por base as seguintes características fenotípicas: altura, diâmetro à altura do peito (DAP), rectidão do fuste, fio espiralado, vigor e forma da copa.

O pomar 1 do Escaroupim é composto por 60 ortetos e o pomar 2 é constituído por 49 ortetos, cujos rametos foram distribuídos aleatoriamente, com restrições decorrentes da necessidade de evitar a vizinhança entre rametos do mesmo orteto. A instalação destes pomares, por enxertia de fenda cheia sobre porta enxertos de pinheiro bravo, terminou em 1980.

Em Fevereiro de 1985 as pinhas resultantes de polinização livre foram colhidas em todos os rametos de cada clone e mantidas em separado. Por motivos relacionados com a insuficiência da produção total de pinhas de alguns clones e com outras restrições de ordem metodológica, só foram considerados 46 ortetos no teste de progénie.

A sementeira foi realizada na Primavera de 1986, em sacos de polietileno dispostos em canteiros, sob um delineamento experimental de quatro blocos casualizados completos.

Com as plantas assim obtidas, estabeleceram-se 3 ensaios de campo, dois em Leiria (talhão 24 e talhão 152) e um na Mata Nacional do Escaroupim (talhão 5). A

plantação foi feita em Janeiro e Fevereiro de 1987 com plantas de dez meses, de acordo com um delineamento experimental de oito blocos casualizados completos, sendo cada parcela constituída por 2 linhas de quatro plantas com um compasso de 2mX2m.

Na fase de viveiro fizeram-se várias observações de características juvenis das plântulas, e no local definitivo determinou-se a altura no primeiro e no segundo ano após a plantação; estes resultados são apresentados e discutidos em (AGUIAR, 1989). Posteriormente fizeram-se medições da altura total de cada planta, ao 5º ano, em todos os locais do ensaio.

#### Métodos estatísticos

As medições foram efectuadas em todas as árvores que compõem os ensaios e os dados submetidos a análises de variância utilizando o seguinte modelo matemático de efeitos aleatórios (SOKAL e ROHLF 1980), (WALPOLE e MYERS 1978):

$$y_{ijk} = \mu + F_i + B_j + (FB)_{ij} + e_{ijk}$$

em que  $y_{ijk}$  representa a observação de um indivíduo,  $\mu$  a média geral da população,  $F_i$  o efeito da família de meios irmãos de ordem  $i$ ,  $B_j$  o efeito do bloco de ordem  $j$ ,  $(FB)_{ij}$  o efeito da interação entre a família de ordem  $i$  e o bloco de ordem  $j$ , sendo  $e_{ijk}$  o efeito do indivíduo de ordem  $k$  na família de ordem  $i$  no bloco de ordem  $j$ .

Os métodos estatísticos utilizados para a estimativa da heritabilidade ( $h^2$ ) são baseados no cálculo da contribuição relativa de cada componente da variância nos quadrados médios esperados tal como se analisa no Quadro 1.

Quadro 1 - Composição dos quadrados médios esperados

origem de variação	graus de liberdade	Quadrado médio esperado
famílias	(f-1)	$\sigma_w^2 + n\sigma_{fb}^2 + n\sigma_f^2$
blocos	(b-1)	$\sigma_w^2 + n\sigma_{fb}^2 + n\sigma_b^2$
fb	(f-1)(b-1)	$\sigma_w^2 + n\sigma_{fb}^2$
erro	fb (n-1)	$\sigma_w^2$

Sendo  $\sigma_f^2$  a componente da variância relacionada com as famílias,  $\sigma_b^2$  a componente referente aos blocos,  $\sigma_{fb}^2$  interação família x bloco,  $\sigma_w^2$  plantas no interior da parcela.

As estimativas da heritabilidade em sentido restrito foram efectuadas utilizando as fórmulas clássicas derivadas da correspondência entre as componentes observadas da variância calculada, com o coeficiente de correlação intra-classe (FALCONER, 1981).

$h^2 =$  variância aditiva/variância fenotípica individual

$$= 4 \sigma_f^2 / (\sigma_w^2 + \sigma_b^2 + \sigma_f^2)$$

$h_f^2 =$  variância aditiva das famílias/variância fenotípica das médias das famílias

$$= \sigma_f^2 / (\sigma_w^2 / nb + \sigma_b^2 / b + \sigma_f^2)$$

A estimativa da heritabilidade é fundamental para se calcular o ganho genético, quer através da fórmula do diferencial de selecção quer por meio da expressão da intensidade de selecção:

$$R = ih^2 \sigma_p = S h^2$$

Sendo (i) a intensidade de selecção, ( $h^2$ ) a heritabilidade em sentido restrito, ( $\sigma_p$ ) o desvio padrão fenotípico e (S) o diferencial de selecção.

Para o cálculo do ganho genético, no caso particular de um teste de descendências maternas e se os elementos a seleccionar forem essas mesmas descendências, utiliza-se a heritabilidade ao nível de família ( $h_f^2$ ) e a fórmula indicada será:

$$\Delta G = S h_f^2 = i \sigma_p h_f^2$$

Representando ( $\Delta G$ ) o ganho genético actual, a selecção dos progenitores que deram origem às melhores famílias (que na prática, poderá concretizar-se através um "desbaste genético") conduzirá a um ganho duplo do indicado anteriormente, sendo então:  $2\Delta G$  (NANSON, 1970).

### Resultados e discussão

No Quadro 2 estão indicados os resultados da análise de variância respeitante à variável altura total das plantas, em cada um dos locais. Em todos os casos se verificaram diferenças muito significativas entre famílias ( $P < 0.001$ ), entre blocos e na interacção famílias x blocos, revelando este último aspecto, alguma instabilidade das famílias nos vários blocos em cada local.

As percentagens de variação devidas aos diferentes factores (Quadro 3), apresentam flutuações ligeiras ao longo dos anos. A variância genética ( $\sigma_f^2$ ), aumentou de valor no talhão 24, na M. N. de Leiria, e diminuiu nos restantes locais de ensaio. No talhão 152, ao 5º ano, esta componente apresenta um valor negativo que, sendo teoricamente um absurdo, se justifica pelo facto de não se tratar da estimativa directa de um parâmetro estatístico mas sim do resultado da subtracção de outras componentes. Este facto pode ser comprovado tendo em consideração que o quadrado médio referente às famílias (0.5851) é menor que o quadrado médio correspondente à interacção (0.7087) pelo qual tem de ser subtraído (Quadro 2).

Naturalmente que este valor afecta directamente o cálculo da heritabilidade que,

por sua vez é também negativa. PÖYKKÖ (1982), refere igualmente heritabilidades negativas da altura e do diâmetro em progénies de pinheiro silvestre e apresenta como explicação para este facto, a heterogeneidade das condições de crescimento nos talhões experimentais, a topografia e outros factores que causam variações imprevistas, difíceis de separar nas análises estatísticas.

**Quadro 2** - Análise de variância da altura total das plantas, medida 5 anos após a plantação, em cada um dos locais

Origem de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	Valor de P
<b>M. N. LEIRIA T24</b>				
famílias	67.6726	45	1.5038	P<0.001
blocos	61.5977	7	8.7997	P<0.001
f x b	210.6114	315	0.6686	P<0.001
erro	165.5546	1104	0.1499	
<b>M. N. LEIRIA T152</b>				
famílias	26.3287	45	0.5851	P<0.001
blocos	7.1640	7	1.0234	P<0.001
f x b	223.2282	315	0.7087	P<0.001
erro	163.7257	1104	0.1483	
<b>ESCAROUPIM T5</b>				
famílias	63.1569	45	1.4035	P<0.001
blocos	23.9689	7	3.4241	P<0.001
f x b	272.2433	315	0.8643	P<0.001
erro	938.7525	2576	0.3644	

**Quadro 3** - Componentes da variância (em % da total), heritabilidade e média geral da altura das plantas, nos ensaios da M. N. de Leiria e da M. N. do Escaroupim, aos 1º, 2º e 5º anos

	M. N. LEIRIA T24			M. N. LEIRIA T152			M. N. ESCAROUPIM T5		
	1º ano	2º ano	5º ano	1º ano	2º ano	5º ano	1º ano	2º ano	5º ano
$\sigma_f^2$ (%)	4.97	6.22	7.4	0.74	0.22	neg.	2.5	3.21	2.0
$\sigma_b^2$ (%)	4.10	5.52	12.6	2.42	1.47	—	3.11	2.53	1.60
$\sigma_{fb}^2$ (%)	16.49	15.75	37.1	14.75	19.34	—	13.97	18.25	14.3
$\sigma_w^2$ (%)	74.45	72.51	42.9	82.1	78.98	—	80.43	76.01	82.1
$h^2$	0.20	0.26	0.34	0.03	0.009	neg.	0.10	0.12	0.078
$h_f^2$	0.61	0.67	0.56	0.20	0.057	neg.	0.45	0.48	0.382
$\bar{X}$ (cm)	22.41	41.47	177.9	24.36	43.38	143.3	69.05	138.2	535.8

Recentemente JINDAL, S. *et al* (1992), estimaram ainda valores negativos para a componente de variação da altura aos 2º, 5º e 6º anos, ligada aos blocos ( $\sigma_b^2$ ), num ensaio de progénies de *Tecomella undulata*. Nesse estudo foram claras as flutuações dos vários componentes da variância e o decréscimo dos valores das estimativas da heritabilidade entre o 1º e o 6º anos, ao nível de família (79.6%-46.3%) e ao nível individual (46.4%-15.1%).

O decréscimo da heritabilidade de algumas características de espécies florestais com o aumento da idade é referido por diversos autores (ZOBEL e TALBERT 1984); particularmente em relação a características de heritabilidade moderada, como é considerada na generalidade a altura total das plantas (KRUSCHE *et al* 1980).

No talhão 5 da M. N. do Escaroupim (Salvaterra de Magos) verificou-se um decréscimo da variância respeitante às famílias ( $\sigma_f^2$ ) e um aumento da variância do erro ( $\sigma_w^2$ ). Este facto contribuiu para reduzir o valor da heritabilidade em relação ao de anos anteriores. Estas variações podem ser explicadas devido ao facto de o crescimento médio, em altura, das várias progénies, nos estádios mais jovens, estar mais controlado geneticamente que o crescimento médio aos 5 anos, em que os efeitos de competição são mais acentuados.

No talhão 24 da M. N. de Leiria verificou-se um aumento relativo das componentes da variância das famílias ( $\sigma_f^2$ ), dos blocos ( $\sigma_b^2$ ) e da respectiva interacção ( $\sigma_{fb}^2$ ) e uma diminuição significativa de ( $\sigma_w^2$ ). No entanto, com as correcções efectuadas para as médias, necessárias para o cálculo da heritabilidade ao nível de família, determinou-se para o 5º ano um valor apenas ligeiramente inferior aos que foram obtidos para o 1º e o 2º anos após a plantação (Quadro 3).

Devido ao aumento da componente da variância relativa aos blocos ( $\sigma_b^2$ ), que é descartada pelo método de análise (não fazendo parte do denominador da fórmula de cálculo de  $h^2$ ), e à diminuição sensível da componente ligada ao erro ( $\sigma_w^2$ ), a heritabilidade individual aumentou. Contudo, quando se pretende fazer selecção individual, alguns autores consideram que a heritabilidade e os ganhos genéticos calculados podem ser sobreestimados por se omitir a variação devida às diferenças entre os blocos (COTTERILL, 1987).

Atendendo ao valor negativo obtido para a componente correspondente à variância genética no talhão 152 da M. N. de Leiria e ao facto de as médias da altura nos três locais serem muito discrepantes, não se realizou a análise de variância conjunta. Em particular, verifica-se que a altura média das plantas no talhão 5 do Escaroupim tem um valor três vezes superior àquele que é observado nos outros locais. (Quadro 3). Este facto parece dever-se à fraca competição da flora espontânea nos primeiros anos e, possivelmente, à existência de um lençol freático a poucos metros de profundidade.

Devido a estes constrangimentos, a estimativa do ganho genético do crescimento em altura aos 2º e 5º anos foi feita somente para o ensaio do talhão 24 da M. N. de Leiria, com base nos resultados constantes do Quadro 2.

Considerando a selecção das 16 melhores famílias e seguindo a metodologia já exposta, virá:

Média geral das 16 famílias - 2.02 m.

Média geral do ensaio - 1.779 m.

$$\Delta G = ih_f^2 \sigma_p = Sh_f^2 = (2.02 - 1.779) \times 0.56 = 0.135 \text{ m.}$$

$$2\Delta G = 0.27 \text{ m.}$$

Considerando a média geral do ensaio, o resultado apresentado (0.27 m.) corresponderá a um ganho genético de 15,1%, se após o desbaste genético se verificar no pomar do Escaroupim cruzamentos ao acaso entre todos os progenitores.

Este resultado representa um ligeiro decréscimo relativamente ao ganho genético calculado para o 2º ano, cujo valor foi de 17,3% (AGUIAR, 1990). As oscilações verificadas ao longo dos anos nos cálculos efectuados, são vulgares neste tipo de ensaios tal como já foi referido. Neste caso, a alteração verificada relativamente ao ganho genético é resultante da natural modificação do desvio padrão fenotípico e da diminuição da heritabilidade de 0.67 para 0.56. Contudo, o ganho genético agora calculado continua a ser extremamente interessante, quando confrontado com resultados de outros autores e, em particular, com os de BARADAT (1986), que refere ganhos de 15% em volume e 20% na forma do tronco, nos programas de melhoramento de pinheiro bravo do INRA. (França).

Relativamente à ordenação das famílias e sua evolução ao longo dos anos, representam-se na figura 1 os valores das melhores descendências, segundo o critério da altura ao 5º ano, confrontados com os correspondentes valores ao 2º ano.

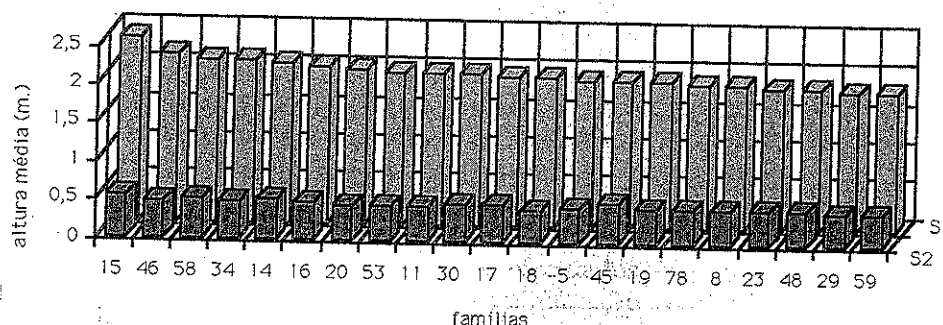


Fig. 1 -Serição das famílias no talhão 24 da M. N. de Leiria, pelas médias das descendências, observadas 5 anos após a plantação (S1), e valores médios das mesmas famílias ao segundo ano (S2).

Como facilmente se depreende pela observação da figura, houve alterações na seriação das famílias entre o segundo e o quinto ano após a plantação. Note-se, entretanto, como factor mais importante, o aparecimento das famílias 11, 18 e 19 no grupo das dezasseis melhores, por troca com as famílias 8, 23 e 31, embora as duas primeiras deste segundo grupo se encontrem ordenadas imediatamente a seguir à família 78, a última a ser considerada superior geneticamente, na base dos cálculos efectuados para o ganho genético ao 5º ano anteriormente apresentados.

Surpreendente foi a evolução da família 18, cujo valor se situava abaixo da média geral do ensaio ao 2º ano; em todos os outros casos, se verificaram somente pequenas

mudanças de posição, excepto no que diz respeito ao comportamento da família 45 que no "ranking" anterior ocupava a terceira posição e se encontra agora apenas no 14º lugar.

Como comentário final poderemos afirmar que apesar de existirem algumas mudanças de posição na seriação das famílias no período de tempo que mediou entre o 2º e o 5º ano, poucas excepções se encontraram na tendência geral verificada: as melhores famílias mantêm-se no grupo com valores superiores à média geral do ensaio e as famílias mais fracas continuam a ser as piores. A evolução destes dados deverá permitir avaliar ao fim de quantos anos se poderá fazer a selecção com um grau de certeza elevado.

### Agradecimentos

Ao Prof. Antero Martins do Instituto Superior de Agronomia pela revisão científica deste trabalho.

À Prof. Teresa Alpuim da Faculdade de Ciências de Lisboa (DEIO) pelo apoio que prestou no tratamento estatístico dos dados.

### Bibliografia

- AGUIAR, A. - *Estudo da variabilidade genética de algumas características juvenis em descendências maternas de pinheiro bravo (pinus pinaster Ait)*. INIA, EFN. Lisboa. 1989
- ALPUIM, M. - *Algumas considerações sobre o melhoramento genético do Pinheiro bravo*. "Estudos e informações" D.G.S.F.A. nº 257 Lisboa. 1971
- BARADAT, P. - *Pin maritime. Amélioration génétique des arbres forestiers*. "Revue Forestière Française", numéro spécial. 1986
- COTTERILL, P. - Short note: *On estimating heritability according to practical applications*. "Silvae Genetica", 36, 1. p. 46-48. 1987
- FALCONER. - *Introduction to Quantitative Genetics*. Second edition Longman - London, New York. 1981
- JINDAL, S. K.; SINGH, M.; SOLANKI, K. R.; KACKAR, N. L. - *Changes in genetic parameters and ranks over six growth years in Tecomella undulata (Sm.) Seem*. "Silvae Genetica" 41, 4-5 p. 213-216. 1992
- NANSON, A. - *L'heritabilité et le gain d'origine génétique dans quelques types d'expériences*. "Silvae Genetica" 19, 4 p. 113-121. 1970
- PERRY, D. H.; HOPKINS, E. R. - *Importation of breeding material of Pinus pinaster Ait. from Portugal*. "For. Dept. W. A. Bulletin", nº 75. 1967
- PÖYKKÖ, T. - *Genetic variation in quality characters of scots pine. An evaluation by means of heritability concept*. "Silva Fennica", vol. 16 nº 2. 1982
- KRUSCHE, D.; DAS, B. L.; STEPHAN, B. R. - *Results of a progeny test with Pinus sylvestris and estimation of genetic gains from different selection methods*. "Silvae Genetica", 29, 3-4. p.122-129. 1980
- ROULUND, H.; ALPUIM, M.; VARELA, M. C.; AGUIAR, A. - *A tree improvement plan for Pinus pinaster in Portugal*. E.F.N. Lisboa. 1988
- SOKAL, R.; ROHLF, F. - *Biometry*. W. H. Freeman and Company. San Francisco. 1969
- WALPOLE, R.; MYERS, R. - *Probability and statistics for Engineers and Scientists*. Macmillan Publishing Co. New York. 1978
- ZOBEL, B.; TALBERT, J. - *Applied Forest Tree Improvement*. John Wiley d Sons. New York. 1984