

**VARIAÇÃO GENÉTICA PARA CARACTERES SILVICULTURAIS
EM PROGÊNIES DE POLINIZAÇÃO ABERTA DE
Eucalyptus camaldulensis EM LUIZ ANTÔNIO–SP***

Marcela Aparecida de MORAES**
Antonio Carlos Scatena ZANATTO***
Eurípedes MORAES***
Alexandre Magno SEBBENN***
Miguel Luiz Menezes FREITAS***

RESUMO

O *Eucalyptus camaldulensis* é uma das espécies mais plantadas no Brasil em reflorestamentos comerciais por seu rápido crescimento e por sua adaptabilidade em vários tipos de ambiente. O objetivo do presente trabalho foi estimar parâmetros genéticos para os caracteres silviculturais DAP, altura e forma do tronco, em uma população base de *E. camaldulensis* procedente da região de Victoria River, Austrália. A população base foi instalada na forma de teste de progênies, em 1987, na Estação Experimental de Luiz Antônio–SP, do Instituto Florestal de São Paulo e mensurada para os caracteres quantitativos aos 19 anos de idade (2006). O ensaio foi estabelecido no delineamento de blocos casualizados com 16 progênies, 100 repetições e uma planta por parcela, no espaçamento de 4 x 4 m. Foram estimados os parâmetros genéticos empregando-se a metodologia do modelo linear misto (procedimento REML/BLUP). Foram detectadas diferenças significativas pelo teste F da análise de variância para todos os caracteres. O coeficiente de herdabilidade em nível de média de progênies foi alto para todos os caracteres (variando de 73 a 80%), indicando que a maior parte da variação fenotípica média entre as progênies é de origem genética e, portanto, que o controle genético dos caracteres para a seleção foi alto. A acurácia seletiva foi também alta para todos os caracteres (variando de 84,91 a 89,39%), o que sugere alta precisão no acesso do valor genético verdadeiro das progênies. Esses resultados indicam que a população tem alto potencial para ser explorada pela seleção e utilizada em programas de melhoramento genético com a espécie.

Palavras-chave: teste de progênies, população base, parâmetros genéticos, procedimento REML/BLUP.

ABSTRACT

Eucalyptus camaldulensis is one of the most planted species in Brazil in commercial stands due fast growth and adaptability to different kinds of environment. The aim of the present work was to estimate genetic parameters for the silvicultural traits, DBH, height and stem form in an *E. camaldulensis* base population, provenance from Victoria River, Australia. The base population was established in a progeny test, in 1987, in Luiz Antônio Experimental Station, of São Paulo Forestry Institute, and measured for the traits at 19 years of age (2006). The trial was established in a random block design, with 16 progenies, 100 repetitions and one plant per plot, in a 4 x 4 m compass. Genetic parameters were estimated using a mix-linear model approach (REML/BLUP proceedings). Significant differences by F test of variance analyses were detected for all study traits. The heritability coefficient in level of means of progenies were high for all traits (ranging from 73 to 80%), indicating that great part of phenotypic variation between the progenies is from genetic origin, and, thus, that the genetic control of the traits was high. The selective accuracy was also high for all traits (ranging from 84.91 to 89.39%), suggesting a high precision in the access of true genetic value of the progenies. These results indicate that the population has high potential to be explored by selection and used in tree breeding programs with the species.

Key words: progeny test; base population; genetic parameters; REML/BLUP proceeds.

(*) O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq – Brasil. Aceito para publicação em outubro de 2007.

(**) Graduanda em Agronomia, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira/UNESP, Caixa Postal, 31, 15385-000, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil.

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

1 INTRODUÇÃO

As espécies do gênero *Eucalyptus* L'Herit, devido ao seu rápido crescimento e produção de madeira, aliado à sua grande diversidade genética entre as espécies e adaptabilidade a diferentes regiões, ocupam posição de destaque no setor florestal mundial. O gênero *Eucalyptus*, pertencente à família das Myrtaceas, originalmente australiano, detém cerca de 600 espécies e variedades endêmicas no país de origem, ocorrendo ainda na Indonésia e ilhas adjacentes, tais como Flores, Alor, Wetar (Pryor, 1976). São de grande plasticidade genotípica e dispersão mundial, crescendo satisfatoriamente em grande amplitude edafoclimática, extrapolando as regiões de origem (Eldridge, 1975). Com base na experiência florestal mundial, as espécies do gênero *Eucalyptus* estão entre as de maior capacidade de produção em volume de madeira por unidade de área, dentro de um ciclo relativamente curto. Por esse motivo, grandes empreendimentos consumidores de madeira, para energia e celulose, têm optado por plantar essas espécies.

O gênero *Eucalyptus* é amplamente plantado no território brasileiro. Esse fato se deve à sua importância como espécie botânica de grande diversidade, boa adaptabilidade a vários tipos de ambiente e alta produtividade de madeira para diversos fins. Dessa forma, são crescentes os esforços empreendidos no sentido de estabelecer florestas de usos múltiplos, voltados principalmente para atender à demanda de madeira nos mercados nacional e internacional, utilizada para energia, celulose, serraria e outros fins, em substituição às madeiras nativas (Martins *et al.*, 2005).

Dentre as muitas espécies do gênero, se destaca o *Eucalyptus camaldulensis*, por seu potencial e diversidade de uso. Constitui-se numa das espécies de grande interesse econômico, como: *E. grandis*, *E. citriodora* e *E. urophylla*. Essa espécie foi uma das primeiras do gênero *Eucalyptus* a ser plantada com sucesso em regiões fora da Austrália (Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO, 1979). As principais características de *E. camaldulensis*, as principais são: capacidade de desenvolver-se bem em solos relativamente pobres, resistência a longos períodos de seca, tolerância a períodos chuvosos, alguma resistência à geadas, a madeira produzida é mais dura, pesada e escura quando comparada às das espécies *E. grandis* e *E. globulus* (Martins *et al.*, 2002).

Programas de melhoramento florestal, em geral, seguem os seguintes passos: teste de espécie, teste de procedência das espécies de maior potencial, teste de progênies das melhores procedências e hibridação ou seleção em teste de progênies de irmãos-completos. Uma das etapas fundamentais em programas de melhoramento genético florestal é a análise dos testes de progênies que permitem quantificar a herança de caracteres quantitativos de valor econômico, bem como estimar ganhos genéticos esperados pela seleção. Dentre os diversos parâmetros genéticos estimados em testes de progênies, um dos mais importantes é o coeficiente de herdabilidade, que mede o controle genético existente em um caráter, portanto, o potencial que o melhorista tem para a seleção é o melhoramento genético. A herdabilidade é uma propriedade não somente de um caráter, mas também da população e das circunstâncias de ambientes às quais os indivíduos estão sujeitos (Vencovsky & Barriga, 1992). O valor da herdabilidade poderá ser afetado se houver alteração em qualquer um dos componentes da variância fenotípica (Falconer, 1987).

Existem diversos métodos para estimar parâmetros genéticos, como o método dos mínimos quadrados e máxima verossimilhança. Em espécies florestais, nas quais muitas vezes se trabalha com ensaios desbalanceados devido, por exemplo, à mortalidade nos experimentos, a estimativa de parâmetros genéticos pela metodologia REML/BLUP tem sido destacada pela precisão que confere às estimativas obtidas (Resende & Fernandes, 1999; Resende & Dias, 2000; Resende, 2002a; Costa *et al.*, 2002; Costa *et al.*, 2005; Missio *et al.*, 2005).

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo estimar parâmetros genéticos para caracteres silviculturais em progênies de polinização aberta de uma população de *E. camaldulensis*, procedente da região de Victoria River, Austrália, empregando-se a metodologia de modelos mistos (procedimento REML/BLUP), visando transformar o teste de progênies em um Pomar de Sementes por Mudas ou disponibilizar material para a formação de um Pomar de Sementes Clonal.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A população base de *E. camaldulensis*, alvo deste estudo, foi instalada na forma de teste de progênies em novembro de 1987, na Estação Experimental de Luiz Antônio-SP, do Instituto Florestal de São Paulo, localizada nas coordenadas 21° 40' S, 47° 49' W e altitude de 550 m acima do nível do mar, com clima tropical e temperatura média anual do mês mais quente de 22,7 °C, e do mês mais frio de 17,2 °C, inverno seco, precipitação média anual de 1.280 mm. O relevo do local é plano com inclinação em torno de 5% e solo do tipo Latossolo Roxo. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com 16 progênies de *E. camaldulensis*, procedentes de Victoria River, Austrália. O espaçamento adotado foi o de 4,0 x 4,0 m, com uma planta por parcela e 100 repetições. A bordadura externa foi constituída por duas linhas de uma mistura de progênies.

No teste de progênies foram mensurados, aos 19 anos de idade (2006), os seguintes caracteres: diâmetro à altura do peito (DAP, cm), altura total (m) e forma do tronco (variando de 1 – tronco muito tortuoso e bifurcado, a 5 – tronco reto sem bifurcação, danos e doenças). Todos os caracteres foram analisados empregando-se a metodologia do modelo linear misto (univariado aditivo), utilizando-se, para tanto, o programa SELEGEN (Resende, 2002b). As definições e expressões dos coeficientes de herdabilidade e do coeficiente de variação genética têm por base os trabalhos de Namkoong (1979), Vencovsky & Barriga (1992) e Resende (2002a).

Herdabilidade entre progênies (h_m^2):

$$\hat{h}_m^2 = \frac{\hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_p^2 + \frac{\hat{\sigma}_e^2}{b} + \frac{\hat{\sigma}_d^2}{\bar{n}b}}$$

Coefficiente de variação genética (CV_g):

$$CV_g = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_p^2}}{\hat{m}} \cdot 100.$$

Coefficiente experimental (CV_e):

$$CV_e = \frac{\sqrt{QMR \cdot 100}}{\hat{m}}$$

Razão (CV_r):

$$CV_r = \frac{CV_g}{CV_e}$$

Em que: \hat{m} é a média geral do caráter; σ_A^2 é a estimativa da variância genética aditiva; σ_p^2 é a estimativa da variância genética entre progênies; σ_e^2 é a estimativa da variância do erro entre parcelas; σ_d^2 é a estimativa da variância fenotípica dentro de progênies; b é o número de repetições, e \bar{n} é média harmônica do número de plantas dentro de progênies.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O coeficiente de variação experimental apresentou-se alto para os caracteres avaliados, com 33,66% para o DAP, 44,15% para a forma e 20,44% para a altura. Esses valores são superiores aos encontrados na literatura para outros estudos. Comparando-se esses resultados com os observados nos trabalhos de Paula *et al.* (2002), avaliando famílias de polinização aberta de *E. camaldulensis*, e Martins *et al.* (2002), avaliando famílias de polinização aberta de *E. grandis*, fica evidente a maior variação ambiental no presente teste.

O teste F da análise de variância detectou diferenças significativas a 1% de probabilidade para todos os caracteres (TABELA 1), indicando que existem diferenças genéticas entre as progênies e, portanto, a possibilidade de se obter ganhos genéticos pela seleção das progênies mais produtivas para os caracteres estudados.

TABELA 1 – Estimativas da média (\hat{m}), do coeficiente de variação experimental (CV_e) e resultados do teste F para o efeito de progênies para os caracteres silviculturais: DAP (cm), altura (m) e forma do fuste (Forma) para o teste de progênies de *Eucalyptus camaldulensis* em Luiz Antônio-SP, aos 19 anos de idade.

Caráter	\hat{m}	CV_e (%)	F_{prog}
Forma	1,80	44,15	4,98**
DAP (cm)	18,32	33,66	3,56**
Altura (m)	17,84	20,44	3,70**

(**) $P \leq 0,01$.

TABELA 2 – Performance de crescimento em altura e DAP de algumas espécies arbóreas exóticas.

Espécie	Idade (anos)	Altura (m)	IMA para altura (m)	DAP (cm)	IMA para DAP (m)	Fonte
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	19	17,84	0,94	18,32	0,96	Presente estudo
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	7	15,12	2,16	14,66	2,09	Del Quiqui <i>et al.</i> (2001)
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	5,6	11,99	2,14	10,28	1,84	Martins <i>et al.</i> (2002)
<i>Eucalyptus pseudoglobulus</i>	11	21,93	1,99	18,14	1,65	Ettori & Sato (1996)
<i>Eucalyptus maidenii</i>	11	22,33	2,03	18,34	1,67	Ettori & Sato (1996)
<i>Eucalyptus resinifera</i>	21	22,48	1,07	38,57	1,84	Sato <i>et al.</i> (2007)
<i>Araucaria cunninghamii</i>	20	23,25	1,16	27,46	1,37	Sebbenn <i>et al.</i> (2005)
<i>Pinus oocarpa</i>	18	29,98	1,67	22,29	1,23	Ettori <i>et al.</i> (2002)

Os dados são referentes sempre às melhores médias.
IMA = incremento médio anual.

O crescimento médio da população para o DAP foi de 18,32 cm, e para a altura de 17,84 m. A média da forma do fuste foi estimada em 1,80 (TABELA 2). O incremento médio anual, para os caracteres de crescimento DAP e altura (0,96 cm e 0,94 m, respectivamente), é relativamente baixo quando comparado a outras pesquisas com espécies arbóreas, em que diversos autores têm observado maiores incrementos médios anuais (Martins *et al.*, 2002; Del Quiqui *et al.*, 2001; Ettori & Sato, 1996; Sato *et al.*, 2007; Sebbenn *et al.*, 2005), embora o estágio avançado da avaliação do experimento (19 anos) influencie e diminua a média de crescimento, no atual trabalho. Os incrementos geralmente tendem a ser altos nos primeiros anos de plantio, e diminuem com o passar dos anos e desenvolvimento das árvores.

Em relação à forma do fuste, os resultados indicam que a espécie não tem uma das melhores formas (TABELA 1). O valor médio da nota da população (1,8) corresponde a apenas 64% do valor de uma árvore ótima (nota 5). Contudo, a presença de variação genética significativa para o caráter, como anteriormente comentado, indica que existe a possibilidade de se obter ganhos genéticos com a seleção entre progênies. O melhoramento desse caráter deve ser uma prioridade no programa de melhoramento genético, porque afeta diretamente a utilização da matéria-prima. Árvores tortuosas podem ser usadas para a fabricação de carvão, mas não são adequadas para serraria. Árvores com fuste reto oferecem maior aproveitamento na produção de tábuas.

O coeficiente de variação genética (TABELA 3) foi menor para altura (3,36%), seguido do DAP (5,39%) e pela forma (8,80%), indicando que o caráter forma foi o que expressou a maior variação genética entre as progênies, portanto maior potencial para a seleção. O coeficiente de herdabilidade para a média entre progênies foi alto para todos os caracteres (variando de 73 a 80%), indicando alto controle genético nos caracteres para a seleção, em destaque novamente a forma do fuste. A acurácia, que representa a relação entre o valor genético verdadeiro e o estimado, foi alta para o DAP, altura e forma do tronco com valores variando de 84,81 a 89,39%. Isso indica alta precisão no acesso à variação genética verdadeira a partir da variação fenotípica observada nos caracteres. Em geral, os resultados também indicam que o caráter forma do fuste é o mais indicado para a seleção, devido aos maiores valores de variação genética, herdabilidade e acurácia seletiva.

Contudo, os outros caracteres também apresentaram alto controle genético e acurácia seletiva, embora a variação genética a ser explorada pela seleção seja aparentemente menor.

Em suma, os resultados indicam que a presente população, embora composta por apenas 16 progênies de polinização aberta, tem alta variabilidade genética, alto controle genético nos caracteres para ser explorada pela seleção para a região de Luiz Antônio-SP. Essa variabilidade genética pode ser explorada pela seleção das melhores progênies para os caracteres, com destaque para a seleção da forma das árvores, seguida da seleção das melhores árvores de cada progênie dando origem a um Pomar de Sementes por Mudas. Esse material genético selecionado pode também ser utilizado para compor pomares de sementes clonais, utilizados como propágulos para reflorestamentos ou em programas de hibridação interespecífica.

TABELA 3 – Estimativas do coeficiente de variação genético (CV_g), herdabilidade média entre progênies (h_m^2), e a acurácia (Ac) para os caracteres silviculturais: DAP (cm), altura (m) e forma do fuste (Forma) para o teste de progênies de *Eucalyptus camaldulensis*, aos 19 anos, em Luiz Antônio-SP.

Caráter	CV_g (%)	h_m^2	Ac (%)
Forma	8,80	0,80	89,39
DAP (cm)	5,39	0,72	84,81
Altura (m)	3,36	0,73	85,41

4 CONCLUSÕES

1. A população base de *E. camaldulensis* apresenta variabilidade genética para os caracteres forma do tronco, DAP e altura.
2. A herdabilidade em nível de média de progênies foi alta para todos os caracteres, sugerindo a possibilidade de obter-se ganhos com a seleção.
3. Todos caracteres apresentaram potencial para a seleção, em especial, a forma do tronco.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COSTA, R. B. *et al.* Individual multivariate REML/BLUP in the presence of genotype x environment interaction in rubber tree (*Hevea*) breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 2, p. 131-140, 2002.
- COSTA, R. B. *et al.* Avaliação genética de indivíduos de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) na região de Caaparó, MS, pelo procedimento REML/BLUP. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 371-376, 2005.

- DEL QUIQUI, E. M.; MARTINS, S. S.; SHIMIZU, J. Y. Avaliação de espécies e procedências de *Eucalyptus* para o noroeste do Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 5, p. 1173-1177, 2001.
- ELDRIDGE, K. G. **An annotated bibliography of genetic variation in *E. camaldulensis***. Oxford: Commonwealth Forestry Institute, 1975. 9 p.
- ETTORI, L. C.; SATO, A. S. Testes de procedências de *Eucalyptus pseudoglobulus* e *Eucalyptus maidenii* em Itapeva - SP. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 205-211, 1996.
- ETTORI, L. de C. *et al.* Teste de procedências de *Pinus oocarpa* em três locais do Estado de São Paulo. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v.14, n. 1, p. 39-51, 2002.
- FALCONER, D. S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1987. 279 p.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Eucalypts for planting**. Rome, 1979. p. 677.
- MARTINS, I. S. *et al.* Comparação entre os processos de seleção entre e dentro e o de seleção combinada, em progênies de *Eucalyptus grandis*. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 16-24, 2005.
- MARTINS, I. S.; PIRES, I. E.; OLIVEIRA, M. C. Divergência genética em progênies de uma população de *Eucalyptus camaldulensis* DEHNH. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 1, p. 81-89, 2002.
- _____.; MARTINS, R. C. C.; CORREIA, H. S. Comparação entre seleção combinada e seleção direta em *Eucalyptus grandis*, sob diferentes intensidades de seleção. **Florestas e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 36-43, 2001.
- MISSIO, R. F. *et al.* Estimativas de parâmetros genéticos e predição de valores genéticos aditivos em progênies de *Pinus kesyia* Royle ex Gordon. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 5, n. 4, p. 394-401, 2005.
- MORAES, M. L. T. *et al.* Avaliação da densidade básica da madeira e de sua relação com os caracteres de crescimento, em uma população base de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTUS, Salvador, 1997. **Proceedings...** Colombo: EMBRAPA/CNPQ, 1997. p. 43-47.
- NAMKOONG, G. **Introduction to quantitative genetics in forestry**. Washington, D.C.: Forest Service, 1979. 342 p. (Technical Bulletin, 1588).
- PAULA, R.C. *et al.* Predição de ganhos genéticos em melhoramento florestal. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, DF, v. 37, n. 2, p. 159-165. 2002.
- PRYOR, L. O. **Biology of *Eucalyptus***. London: Edward Arnold, 1976. 82 p. (Studies in Biology, 61).
- RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002a. 975 p.
- _____. **Software SELEGEN-REML/BLUP**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002b. 67 p. (Embrapa Florestas-Documento, 77).
- _____.; DIAS, L. A. S. Aplicação da metodologia de modelos mistos (REML/BLUP) na estimação de parâmetros genéticos e predição de valores genéticos em espécies frutíferas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 22, n. 1, p. 44-52, 2000.
- _____.; FERNANDES, J. S. C. Procedimento BLUP individual para delineamentos experimentais aplicados ao melhoramento florestal. **Revista de Matemática e Estatística**, São Paulo, v. 17, p. 89-107, 1999.
- SATO, A. S. *et al.* Seleção dentro de progênies de *E. resinifera* aos 21 anos de idade em Luiz Antonio-SP. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 93-100, 2007.
- SEBBENN, A. M. *et al.* Genetic variation in *Araucaria cunninghamii* provenances in Luiz Antônio-SP, Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 5, p. 435-442, 2005.
- VENCOSVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496 p.