

Variabilidade genética para caracteres silviculturais em progênies de polinização aberta de *Balfourodendron riedelianum* (Engler)Genetic variability of silvicultural traits in opened-pollinated progenies of *Balfourodendron riedelianum* (Engler)Thaisa Yuriko Kuboyama Kubota<sup>1</sup>, Marcela Aparecida de Moraes<sup>1</sup>,  
Erica Cristina Bueno da Silva<sup>1</sup>, Silvelise Pupin<sup>1</sup>, Ananda Virgínia Aguiar<sup>2</sup>,  
Mario Luiz Teixeira de Moraes<sup>3</sup>, Miguel Luiz Menezes Freitas<sup>4</sup>, Aida Sanae Sato<sup>5</sup>,  
José Arimatéia Rabelo Machado<sup>5</sup> e Alexandre Magno Sebbenn<sup>6</sup>**Resumo**

A fragmentação das florestas naturais tem reduzido as populações de muitas espécies de árvores ao redor do mundo. Devido a isso, é fundamental a adoção de estratégias de conservação genética *ex situ* para garantir a perpetuação dos recursos naturais atuais. Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho foi estimar parâmetros genéticos em um teste de procedências e progênies de *Balfourodendron riedelianum*, estabelecido para fins de conservação genética *ex situ* na Estação Experimental de Pederneiras, do Instituto Florestal de São Paulo. Os seguintes caracteres silviculturais foram avaliados: altura, diâmetro a altura do peito (DAP), forma de tronco, bifurcação, volume e sobrevivência. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos de famílias compactas, com 46 progênies de polinização aberta procedentes de três populações naturais (13 progênies de Alvorada do Sul-PR, 16 de Gália-SP e 17 de Bauru-SP, seis repetições, subparcelas de cinco plantas em linha e espaçamento de 3 x 3 m. O teste foi mensurado aos 27 anos de idade e as estimativas dos parâmetros genéticos foram feitas utilizando-se a metodologia de modelo linear misto univariado aditivo REML/BLUP. Foram detectadas diferenças significativas pelo teste da razão de verossimilhança na análise de *deviance* das procedências para todos os caracteres. O coeficiente de herdabilidade, em nível de média de progênies variou de moderado a alto para todos os caracteres (0,38 a 0,63), indicando que substancial parte da variação fenotípica entre as progênies é de origem genética. Isso sugere a possibilidade de melhorar a média populacional dos descendentes desta população, pela seleção entre progênies. As estratégias de seleção de 60% dos indivíduos para o caractere DAP, utilizando o índice de multi-efeito revelaram baixos ganhos na seleção para todas as procedências. Os resultados também sugerem que as sementes coletadas no pomar de sementes proposto devem apresentar baixos incrementos nas médias do DAP, em razão do baixo ganho de seleção.

**Palavras-chave:** espécies arbóreas; parâmetros genéticos; teste de procedências.

**Abstract**

The fragmentation of natural forests has reduced the size of the populations of many tree species around the world. Because of this, it is essential to adopt strategies for *ex situ* conservation of the remaining populations to ensure the perpetuation of the genetic resources. Thus the aim of this study was to estimate the genetic parameters for the traits: tree height, diameter at breast height (DBH), stem form, forking, volume of wood and survival in a provenance and progeny test of *Balfourodendron riedelianum*. The field trial was established at the Pederneiras Experimental Station, Forestry Institute of the State of São Paulo. The experimental design was a compact family block, with 46 open-pollinated progenies originating from

<sup>1</sup>Pós-graduanda em Agronomia. UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” / Faculdade de Engenharia – Av. Brasil Centro, 56 – Caixa Postal: 31 - Ilha Solteira, SP – CEP: 15.385-000. E-mail: [erica\\_cbs@yahoo.com.br](mailto:erica_cbs@yahoo.com.br); [ma\\_apmoraes@yahoo.com.br](mailto:ma_apmoraes@yahoo.com.br); [silvelise.pupin@gmail.com](mailto:silvelise.pupin@gmail.com); [thaisayuriko@yahoo.com.br](mailto:thaisayuriko@yahoo.com.br).

<sup>2</sup>Pesquisadora Doutora. EMBRAPA Florestas - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 83411-000 - - Colombo-PR. E-mail: [anandaguiar@yahoo.com.br](mailto:anandaguiar@yahoo.com.br).

<sup>3</sup>Professor Titular do Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia, UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” / FEIS - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. CEP 15385-000 - Ilha Solteira, SP. E-mail: [teixeira@agr.feis.unesp.br](mailto:teixeira@agr.feis.unesp.br).

<sup>4</sup>Diretor, Pesquisador Doutor. IF - Instituto Florestal de São Paulo. Caixa Postal 1322 - CEP: 01059-970, São Paulo, SP. E-mail: [miguellmfreitas@yahoo.com.br](mailto:miguellmfreitas@yahoo.com.br).

<sup>5</sup>Pesquisador Científico. IF - Instituto Florestal de São Paulo. Caixa Postal 1322 - CEP: 01059-970, São Paulo, SP. E-mail: [j.rabelomachado@yahoo.com.br](mailto:j.rabelomachado@yahoo.com.br).

<sup>6</sup>Pesquisador Doutor. IF - Instituto Florestal de São Paulo. Caixa Postal 1322 - CEP: 01059-970, São Paulo, SP. E-mail: [alexandresebbenn@yahoo.com.br](mailto:alexandresebbenn@yahoo.com.br).

three natural populations (13 progenies from Alvorada do Sul-PR, 16 from Galia-SP and 17 from Bauru-SP), six replicates and five plants per subplot, spaced at 3 x 3 m. The test was assessed at the age of 27 years and estimates of genetic parameters were obtained using the method of additive univariate linear mixed model REML/BLUP. Significant differences were detected by the likelihood ratio test in the analysis of deviance of provenances for all traits. The coefficient of heritability at progeny means level varied from moderate to high for all traits (0.38 to 0.63), indicating that much of the phenotypic variation among the progenies tested is of genetic origin. This suggests the possibility of improving the means of the offspring of the trees of this population through the selection among progenies. The proportion of selection of 60% of the trees, for the DBH trait using the index of multi-effect, showed small gains at provenance levels. The results also suggest that the seeds collected in the proposed seed orchard will cause small increase in the DBH mean due to the low estimates of the genetic gains.

**Keywords:** genetic parameters; provenance test; tree species.

## INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico e o crescimento populacional foram gradativamente impulsionando as transformações nas paisagens urbanas e rurais e, conseqüentemente, contribuindo para um aumento de perdas e fragmentação dos habitats naturais. O efeito desses fatores será ainda maior no Brasil, pois o país encontra-se em pleno desenvolvimento econômico e, a viabilidade de implantação de ações sustentáveis é mínima diante dos processos que contribuem para o crescimento econômico e social do país. Diante desse cenário, as justificativas para a conservação dos recursos naturais são inúmeras, dentre elas: manter a representatividade das espécies, a conservação dos recursos naturais com a finalidade de amenizar catástrofes humanas e ambientais, a conservação de máxima variabilidade genética das espécies e a formação de corredores ecológicos. Uma das alternativas para viabilizar a conservação dos recursos genéticos é o seu uso. Por exemplo, diversas espécies florestais são fonte de matéria prima para várias finalidades. Mas para sua utilização é necessário o conhecimento do seu potencial genético e produtivo.

Quando o ambiente natural tem suas relações ecológicas comprometidas por ações antrópicas, ou por outros fatores, é prudente a utilização de métodos de conservação *ex situ*, para garantir a sobrevivência das populações (PINTO et al., 2004; SEGARRA-MORAGUES et al., 2005). A conservação *ex situ* visa conservar a variabilidade genética de diferentes populações de espécies florestais, para uso atual ou futuro, com a finalidade de satisfazer as exigências econômicas, sociais e ambientais. Além de garantir a manutenção da representatividade genética dos recursos naturais dentro e fora do seu habitat natural, a conservação *ex situ* pode contribuir para entendimento dos potenciais produtivos,

ecológicos e controle genético de caracteres de valor econômico de inúmeras espécies.

A conservação *ex situ* de populações na forma de testes de procedências e progênes permitem a estimativa de parâmetros genéticos para caracteres quantitativos e permite monitorar a variabilidade genética e verificar a eficácia de estratégia de amostragem utilizadas, além de permitir a manutenção dos níveis de variabilidade genética das populações de espécies ameaçadas (SEBBENN; ETTORI, 2001). Fornece também informações sobre o comportamento silvicultural das espécies (MASTELIN et al., 2010).

Dentre muitas espécies florestais nativas ameaçadas de extinção que necessitam de medidas urgentes de conservação está o *Balfourodendron riedelianum* (Engler) (família Rutaceae), conhecida popularmente como pau marfim. Sua altura em idade adulta varia entre 20 a 35 m e o diâmetro à altura do peito (DAP) entre 40 a 100 cm. Tem tronco retilíneo e cilíndrico. A espécie apresenta ampla distribuição geográfica: do estado de Minas Gerais ao Rio Grande do Sul, estendendo-se ao Paraguai e Argentina (FARIAS et al., 1995). O ocorre em altitudes de 70 a 1.100 m, em temperaturas amenas (CARVALHO, 2003). Habita principalmente a Floresta Estacional Semidecidual Submontana, Floresta Estacional Decidual e a Floresta Ombrófila Mista. Sua madeira tem grande valor econômico, sendo empregada na construção civil e na marcenaria, em projetos paisagístico e em reflorestamentos de áreas degradadas (LORENZI, 1992; DURIGAN et al., 2002; PAULA; ALVES, 2007).

Assim, os objetivos deste trabalho foram estimar parâmetros genéticos para caracteres de crescimento (altura, DAP e volume), forma do fuste, bifurcação e sobrevivência em um teste de procedências e progênes de *B. riedelianum*, estabelecido em Pederneiras, São Paulo, para fins de conservação *ex situ*.

## MATERIAL E MÉTODOS

### a) Amostragem e delineamento experimental

A conservação genética de *B. riedelianum* foi feita em forma de população base, implantado em um teste de procedências e progênies, no delineamento experimental de blocos de famílias compactas, hierárquico, as progênies foram alocadas em subparcelas, dentro de parcelas. Foram amostradas 46 progênies de polinização aberta, procedentes de três populações naturais: 13 progênies de Alvorada do Sul (PR), 16 de Gália (SP) e 17 de Bauru (SP). O experimento foi instalado com seis repetições, cinco plantas em linha por subparcela, no espaçamento de 3 x 3 m, sendo circundado externamente por duas linhas de bordadura. O teste foi instalado na Estação Experimental de Pederneiras (SP), em setembro de 1984. Esse local apresenta as seguintes características: latitude de 22°22' S, longitude de 40°44' W, altitude de 500 m e precipitação média anual de 1.112 mm. O solo é do tipo Latossolo amarelo fase arenosa e o clima é do tipo Cwa, conforme classificação de Köppen (1948). O ensaio foi mensurado aos 27 anos de idade para os seguintes caracteres: DAP (cm), altura total (m), forma do tronco (variando de 1 – tronco muito tortuoso e bifurcado a 5 – tronco reto sem bifurcação), número de bifurcações acima do DAP, sobrevivência e volume cilíndrico ( $V_c$ ) individual, o qual foi calculado conforme a expressão  $V_c = (\pi(DAP/100)^2/4)h$ , em que  $h$  é a altura total da planta em centímetros.

### b) Análise estatística e estimação de parâmetros genéticos

As estimativas de componentes de variância e parâmetros genéticos foram obtidas pelo método REML/BLUP (máxima verossimilhança restrita/melhor predição linear não viciada), empregando-se o programa genético-estatístico SELEGEN-REML/BLUP (RESENDE, 2007b). Para estimar os componentes de variância e os parâmetros genéticos de cada procedência utilizou-se a metodologia de modelo linear misto univariado aditivo do programa SELEGEN - REML/BLUP (RESENDE, 2002; 2007a,b). Para a utilização dos modelos propostos, assumiu-se que as plantas de cada uma das progênies de polinização aberta das três procedências eram meias-irmãs. Nas análises individuais, ignorando o efeito de procedências, foi considerado o seguinte modelo estatístico:  $y = Xr + Za + Wp$

+  $e$ ; em que:  $y$  é o vetor de dados;  $r$  é o vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados à média geral;  $a$  é o vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (aleatórios);  $p$  é o vetor dos efeitos de parcelas (aleatórios);  $e$  é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

As análises genética-estatísticas, considerando o efeito de procedências, foram obtidas pela metodologia do modelo linear misto (aditivo univariado) – REML/BLUP, seguindo o procedimento proposto por Resende (2002, 2007a):  $y = Xr + Za + Wp + Ts + e$ ; em que:  $y$  é o vetor de dados;  $r$  é o vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados a média geral;  $a$  é o vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (aleatórios);  $p$  é o vetor dos efeitos de parcela (aleatórios);  $s$  é vetor dos efeitos de população ou procedência (aleatórios);  $e$  é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos. Também foram estimados a herdabilidade individual dos efeitos aditivos ( $h_a^2$ ), coeficiente de determinação dos efeitos de parcelas ( $C_p^2$ ), herdabilidades da média de progênies ( $h_m^2$ ), herdabilidade aditiva dentro de parcela ( $h_{ad}^2$ ), coeficiente de variação genética aditiva individual ( $CV_{gi}$ ), coeficiente de variação genotípico entre progênies ( $CV_{gp}$ ), coeficiente de variação experimental ( $CV_e$ ), coeficiente de variação relativa ( $CV_r$ ), tamanho efetivo populacional ( $N_e$ ), ganhos na seleção ( $G_f(\%)$ ) e a eficiência da seleção ( $Ef(\%)$ ): O tamanho efetivo foi estimado por:  $N_e = (4.N_f \bar{k}_f) / [\bar{k}_f + 3 + (\sigma_{N_f}^2 / \bar{k}_f)]$  em que:  $N_f$  = número de progênies selecionadas;  $\sigma_{N_f}^2$  = variância do número de indivíduos selecionados por progênie;  $\bar{k}_f$  = número médio de indivíduos selecionados por progênie;  $N_{ef}$  = número efetivo de progênies selecionadas, sendo dado por:  $N_{ef} = (\sum k_f)^2 / \sum k_f^2$ . Com estas estimativas foram propostas duas estratégias de seleção, tendo por base o DAP, visando a conservação genética do material e a formação de uma população base para futuros programas de o melhoramento:

a) Seleção de 60% dos 156, 216 e 204 melhores indivíduos das procedências de Alvorada do Sul, Gália e Bauru, com base na classificação feita pelos BLUPs, em ordem decrescente, na análise feita no SELEGEN. Neste método as progênies selecionadas poderiam ter qualquer número de indivíduos entre 1 a 57. Desse modo, foram selecionados vários indivíduos da mesma progênie e nenhum indivíduo de outra progênie.

b) Seleção de 60% dentro das progênies, o que corresponde a um total de: i) 156 indivíduos selecionados da procedência de Alvorada do Sul, 13 (progênies) x 2 (plantas por progênie) x 6 (repetições); ii) 216 indivíduos selecionados da procedência de Gália, 18 (progênies) x 2 (plantas por progênie) x 6 (repetições); iii) 204 indivíduos selecionados da procedência de Bauru, 17 (progênies) x 2 (plantas por progênie) x 6 (repetições). Em todas as situações, todas as progênies tiveram um total de 12 indivíduos selecionados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teste da razão de verossimilhança (LTR) detectou diferenças significativas para o efeito de blocos para os caracteres altura, DAP, volume e sobrevivência (Tabela 1), indicando que a adoção do delineamento experimental, baseado em blocos foi eficiente para controlar a heterogeneidade ambiental entre os blocos. A análise com base no teste da razão de verossimilhança também revelou diferenças significativas entre as procedências para todos os caracteres, com exceção da bifurcação, indicando que existe variabilidade genética entre as procedências conservadas *ex situ*. Porém, para as progênies dentro de cada procedência, não foram detectadas diferenças significativas para os caracteres avaliados. A ausência de diferenças significativas entre progênies dentro de procedências provavelmente está associada ao pequeno número de progênies avaliadas de cada procedência. Assim, sugere-se que futuros trabalhos sejam baseados em maior número de progênies, por exemplo, de pelo menos 30 de cada população. O maior número de progênies aumenta a chance de se detectarem diferenças significativas entre progênies, além de logicamente reter maior variabilidade genética em termos de número de alelos dentro das populações.

De modo geral, os valores médios de procedências para os caracteres considerados foram similares à média geral da análise conjunta (Tabela 2). Para os caracteres altura e DAP, a procedência de Bauru apresentou maior crescimento em relação às demais, mas essa diferença não é significativa. Essa procedência também apresentou a melhor forma do fuste (3,44), indicando que as árvores têm uma tendência de apresentarem pouca tortuosidade ao longo do tronco e bifurcação acima de 1,30 m do solo. Compa-

rando-se o Incremento Médio Anual (IMA) de *B. riedelianum* com o IMA de *Myracrodruon urundeuva*, verifica-se crescimento em altura inferior ou semelhante. Em idades avançadas, o desenvolvimento das árvores passa a ser mais lento do que no período juvenil, como detectado em vários testes de progênies de *M. urundeuva* (FREITAS et al., 2007). Isso contribui para redução do IMA de *B. riedelianum*. A procedência de Bauru foi superior e a de Gália e semelhante a *M. urundeuva* (0,57), avaliada aos 20 anos. Comparando-se a forma do fuste com as demais, verifica-se que a procedência de Alvorada do Sul foi similar a *M. urundeuva* (Aramina) e as procedências de Gália e Bauru foram superiores a todas as outras. A média geral para forma do fuste, assim como a média das procedências foi superior às das procedências de *M. urundeuva* de Alvorada do Sul, Gália e Bauru, avaliadas aos 21 anos por Sebbenn et al. (2007) em Luiz Antônio-SP. A sobrevivência variou de 60% (Alvorada do Sul) a 74% (Gália). Em termos gerais, o crescimento inferior e a baixa taxa de sobrevivência das procedências Alvorada do Sul e Bauru sugerem que estas apresentaram menor adaptação ao local de experimentação do que a procedência Gália. A mortalidade certamente interferiu no efeito de blocos, visto que foi constatado diferentes taxas de mortalidade de plantas entre os blocos. Para contornar esse viés, o número de plantas por parcela poderia ter sido reduzido e o número de repetições aumentado. Outra opção seria excluir um ou dois blocos com maior incidência de mortalidade da análise. A alta taxa de mortalidade dentro de alguns blocos pode ter sido ocasionada pela forte competição das plantas com a braquiária.

**Tabela 1.** Análise de deviance para os caracteres silviculturais e sobrevivência em um teste de procedências e progênies de *Balfourodendron riedelianum*, avaliado aos 27 anos de idade, em Bauru-SP.

**Table 1.** Analysis of deviance (ANADDEV) for silvicultural traits and survival in a provenance and progeny test of *Balfourodendron riedelianum*, assessed at age 27 years, in Bauru-SP.

| Caractere     | Efeitos |              |           |
|---------------|---------|--------------|-----------|
|               | Blocos  | Procedências | Progênies |
| Altura        | 37,71*  | 19,53*       | 0,14      |
| DAP           | 15,22*  | 18,64*       | 0,05      |
| Forma         | 1,24    | 2,76*        | 1,04      |
| Bifurcação    | 0,09    | 0,01         | 2,42      |
| Volume        | 30,93*  | 16,90*       | 0,24      |
| Sobrevivência | 34,08*  | 18,88*       | 0,69      |

\* significativo a 5%, com 0,5 grau de liberdade. DAP é o diâmetro à altura do peito.

Como mencionado anteriormente, as progênies da procedência de Bauru foram as que obtiveram o melhor desempenho para os caracteres

silviculturais avaliados, com exceção da sobrevivência que apresentou maior valor na procedência de Gália, com 73% (Tabela 3).

**Tabela 2.** Médias dos caracteres silviculturais e sobrevivência em um teste de procedências e progênies de *Balfourodendron riedelianum*, avaliado aos 27 anos de idade, em Bauru-SP.

**Table 2.** Means of silvicultural traits and survival in a provenance and progeny test of *Balfourodendron riedelianum*, assessed at age 27 years, in Bauru-SP.

| Amostra              | Altura [IMA] (m) | DAP [IMA] (cm) | Forma | Volume [IMA] (m <sup>3</sup> /árvore) | Sobrevivência (%) |
|----------------------|------------------|----------------|-------|---------------------------------------|-------------------|
| Média geral          | 11,07 [0,41]     | 14,86 [0,55]   | 3,38  | 0,23 [0,008]                          | 60,0              |
| Prog/Alvorada do Sul | 11,07 [0,41]     | 14,86 [0,55]   | 3,38  | 0,28 [0,010]                          | 60,0              |
| Prog/Gália           | 11,49 [0,43]     | 15,51 [0,57]   | 3,42  | 0,26 [0,090]                          | 73,0              |
| Prog/Bauru           | 12,14 [0,45]     | 15,92 [0,59]   | 3,44  | 0,28 [0,010]                          | 64,0              |

DAP é o diâmetro à altura do peito; IMA: incremento médio anual.

**Tabela 3.** Estimativa de parâmetros genéticos para os caracteres silviculturais e sobrevivência dentro das procedências de *Balfourodendron riedelianum*.

**Table 3.** Estimation of genetic parameters for silvicultural traits and survival within the provenances of *Balfourodendron riedelianum*.

|                    | Parâmetros    | Altura (m) | DAP (cm)  | Forma     | Bifurcação | Volume (m <sup>3</sup> ) | Sobrevivência |
|--------------------|---------------|------------|-----------|-----------|------------|--------------------------|---------------|
| Alvorada do Sul-PR | $h_a^2$       | 0,01±0,04  | 0,00±0,01 | 0,05±0,09 | 0,02±0,05  | 0,00±0,01                | 0,12±0,10     |
|                    | $C_p^2$       | 0,007      | 0,004     | 0,007     | 0,005      | 0,027                    | 0,135         |
|                    | $h_m^2$       | 0,07       | 0,01      | 0,29      | 0,13       | 0,01                     | 0,38          |
|                    | $h_{ad}^2$    | 0,00       | 0,00      | 0,04      | 0,01       | 0,00                     | 0,11          |
|                    | $CV_{gi}$ (%) | 2,9        | 1,1       | 9,6       | 3,7        | 3,4                      | 34,5          |
|                    | $CV_{gp}$ (%) | 1,4        | 0,5       | 4,8       | 1,9        | 1,7                      | 17,3          |
|                    | $CV_e$ (%)    | 12,0       | 12,4      | 18,0      | 11,6       | 34,7                     | 53,21         |
|                    | $CV_r$        | 0,11       | 0,04      | 0,26      | 0,16       | 0,04                     | 0,32          |
|                    | $m$           | 10,03      | 13,35     | 2,72      | 3,76       | 0,17                     | 0,50          |
|                    | LRT           | 0,01       | 0,00      | 0,30      | 0,05       | 1,33                     | 0,00          |
| Gália-SP           | $h_a^2$       | 0,06±0,07  | 0,00±0,02 | 0,17±0,12 | 0,06±0,07  | 0,01±0,02                | 0,00±0,02     |
|                    | $C_p^2$       | 0,266      | 0,204     | 0,027     | 0,269      | 0,326                    | 0,083         |
|                    | $h_m^2$       | 0,19       | 0,02      | 0,54      | 0,30       | 0,02                     | 0,02          |
|                    | $h_{ad}^2$    | 0,07       | 0,00      | 0,14      | 0,05       | 0,01                     | 0,00          |
|                    | $CV_{gi}$ (%) | 7,2        | 1,8       | 15,1      | 6,2        | 5,5                      | 4,0           |
|                    | $CV_{gp}$ (%) | 3,6        | 0,9       | 7,8       | 3,1        | 2,7                      | 2,0           |
|                    | $CV_e$ (%)    | 18,2       | 16,4      | 17,0      | 11,7       | 46,8                     | 31,0          |
|                    | $CV_r$        | 0,20       | 0,54      | 0,45      | 0,26       | 0,06                     | 0,06          |
|                    | $m$           | 10,82      | 15,06     | 2,97      | 3,89       | 0,23                     | 0,73          |
|                    | LRT           | 0,25       | 0,00      | 3,47*     | 0,55       | 0,01                     | 0,00          |
| Bauru-SP           | $h_a^2$       | 0,19±0,15  | 0,21±0,15 | 0,00±0,01 | 0,13±0,12  | 0,22±0,16                | 0,08±0,07     |
|                    | $C_p^2$       | 0,007      | 0,017     | 0,006     | 0,012      | 0,007                    | 0,087         |
|                    | $h_m^2$       | 0,60       | 0,61      | 0,01      | 0,50       | 0,63                     | 0,31          |
|                    | $h_{ad}^2$    | 0,15       | 0,17      | 0,00      | 0,11       | 0,18                     | 0,07          |
|                    | $CV_{gi}$ (%) | 10,6       | 12,4      | 1,4       | 8,9        | 31,3                     | 24,1          |
|                    | $CV_{gp}$ (%) | 5,3        | 6,2       | 0,7       | 4,5        | 15,6                     | 12,0          |
|                    | $CV_e$ (%)    | 10,7       | 12,1      | 16,0      | 10,9       | 29,1                     | 43,8          |
|                    | $CV_r$        | 0,50       | 0,51      | 0,04      | 0,41       | 0,54                     | 0,27          |
|                    | $m$           | 12,20      | 15,94     | 3,05      | 3,77       | 0,2837                   | 0,56          |
|                    | LRT           | 3,13*      | 3,42*     | 0,00      | 1,67       | 4,29                     | 1,04          |

DAP é o diâmetro a altura do peito.  $h_a^2$  herdabilidade individual dos efeitos aditivos;  $C_p^2$  coeficiente de determinação dos efeitos de parcelas;  $h_m^2$  e  $h_{ad}^2$  são as herdabilidades da média de progênies aditiva dentro de parcela;  $CV_{gi}$ ,  $CV_{gp}$ ,  $CV_e$  e  $CV_r$  são os coeficientes de variação genética aditiva individual, genotípica entre progênies, variação experimental e variação relativa, respectivamente;  $m$  média geral; LRT: Teste da razão de verossimilhança. \*significativo a 5% com 0,5 grau de liberdade.

O coeficiente de variação experimental ( $CV_e$ ) variou de 11,7% para forma do tronco a 53,2% em Alvorada do Sul. Valores de coeficiente de variação experimental na ordem de 10% a 20% podem ser considerados baixos para experimentos onde ocorre competição entre plantas (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002). Assim, os resultados obtidos indicam que o controle experimental foi satisfatório, e pode-se esperar boa precisão nas estimativas de parâmetros genéticos com exceção a forma do fuste e sobrevivência.

O coeficiente de variação genética apresentou valores variando entre os caracteres de baixos (0,5%) a altos (34,5%) na procedência de Alvorada do Sul (Tabela 3). Isto indica que o caractere sobrevivência foi o que expressou a maior variabilidade genética entre as progênies. Portanto, durante o processo de seleção esse caractere poderá ser contemplado juntamente os relacionados diretamente com a finalidade produtiva. Assim como, durante o processo de amostragem para conservação da variabilidade genética da população.

Como esperado, os coeficientes de herdabilidade em nível de média de progênies apresentaram valores mais altos do que dentro de progênies, indicando que a seleção baseada em médias tem um nível de precisão mais elevado do que baseado em parcelas ou plantas individuais (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992) para todos os caracteres estudados nas três procedências (Tabela 3). Para altura, o coeficiente de herdabilidade individual dos efeitos aditivos ( $h_a^2$ ), coeficiente de herdabilidade da média de progênies ( $h_m^2$ ) herdabilidade aditiva dentro de parcela ( $h_{ad}^2$ ) foram baixos para as procedências Alvorada do Sul e Gália, mas substanciais para a procedência de Bauru com valores de 0,19, 0,60 e 0,15, respectivamente. Os demais caracteres apresentaram o mesmo comportamento, com exceção da forma do fuste, que apresentou maiores coeficientes na procedência de Gália (0,17, 0,54 e 0,14) e da sobrevivência que apresentou maiores coeficientes na procedência de Alvorada do Sul (0,12, 0,38 e 0,11). Estudos com algumas espécies florestais nativas como *B. riedelianum* (SEBBENN et al., 2007), *Cariniana legalis* (SEBBENN et al., 2001), *Cordia trichotoma* (FREITAS et al., 2006), *Myracrodruon urundeuva* (TUNG et al., 2010), *Myroxylon peruiferum* (SEBBENN et al., 1998) e *Tabebuia heptaphylla* (FREITAS et al., 2008) encontraram valores de herdabilidade semelhantes aos do presente estudo. Para a conservação desta espécie, altas herdabi-

lidades em nível de média de progênies indicam que essas procedências têm potencial evolutivo para responder a mudanças ambientais, visto que parte significativa da variabilidade genética observada nos caracteres é de origem genética.

O coeficiente de variação relativa ( $CV_r$ ) indica a correlação entre o coeficiente de variação genotípico do indivíduo e o coeficiente de variação experimental ( $CV_e$ ) utilizado para estimá-lo. Dessa forma, maiores estimativas de  $CV_r$  indicam sucesso na seleção. Valores entre 0 a 0,25 são interpretados como baixos, de 0,25 a 0,5 como intermediários, 0,5 a 0,75 como altos e acima de 0,75 como muito altos (RESENDE, 2002). Assim, num programa para seleção dos melhores indivíduos, o DAP e Volume (ambos com 0,54) seriam os caracteres indicados para efetuar a seleção. Entretanto, o volume é dependente da altura e DAP, que por sua vez são caracteres correlacionados geneticamente. Assim, a seleção foi direcionada para o DAP, que além de ter apresentado estimativas muito próximas a altura e ao volume, é também de fácil mensuração.

O coeficiente de determinação dos efeitos de parcelas ( $C_p^2$ ) foi de baixa magnitude para as procedências de Alvorada do Sul, exceto para sobrevivência com 13,5%, e a procedência de Bauru. Em contrapartida, a procedência de Gália apresentou altos valores, com 26,6% para altura, 20,4% para DAP, 26,9% para bifurcação do tronco e 32,6% para o volume. Valores maiores que 10% indicam que houve heterogeneidade ambiental dentro das parcelas. Recomenda-se, nesse caso, a diminuição do número de plantas por parcela e o aumento dos blocos, assim modificando o arranjo do delineamento experimental, poderia minimizar os erros, consequentemente diminuindo o valor do  $C_p^2$ , tornando as plantas da procedência de Gália mais adequadas na seleção de suas progênies.

Considerando o fato que o presente teste de procedências e progênies foi implantado com o intuito de conservação genética é necessário realizar um desbaste seletivo no teste para manter a taxa de crescimento e garantir uma futura produção de sementes, o aumento do espaçamento entre as plantas, contribuirá para o desenvolvimento de uma boa arquitetura de copa que proporcionará eficiente produção de sementes. Dessa forma, foi utilizado o Índice multi-efeitos (IME) que permite segundo Resende e Higa (1994), explorar frações da variância genética aditiva que não são consideradas

na seleção entre e dentro de progênies, levando à maximização da precisão na seleção, muito embora, a inclusão dos efeitos de parcela e blocos possa alterar pouco a seleção. Considerando suas aplicações, o IME foi utilizado em duas situações, uma para seleção de plantas superiores com relação ao caractere DAP, e outra para estimar ganhos precisos com a seleção para desenvolver estratégias para possível formação de um pomar de sementes a partir do presente teste de procedências e progênies de *B. riedelianum* (Tabela 4). Observa-se que a primeira condição (a) apresenta menor tamanho efetivo ( $N_e$ ), porém maior ganho na seleção ( $G_z$ ), com valores de 36% e 0,1% para a procedência

de Alvorada do Sul; 42% e 0,1% para a procedência de Gália; 31% e 3,3% para a procedência de Bauru, respectivamente. As progênies de *B. riedelianum* da procedência Alvorada do Sul seriam selecionadas de modo conservador, com  $k_f$  igual a 12 indivíduos por progênie (condição b), assim manteriam 100% de sua diversidade e apresentariam um ganho de seleção de 0,01%, uma vez que se fosse adotado o outro método de seleção a sua eficiência seria de apenas 58,3%, maior que a seleção adotada. Porém, para as procedências de Gália e Bauru poderia ser adotado o primeiro método de seleção com  $k_f = \forall k \neq 0$ , por apresentarem uma eficiência de 76,3% e 78,6% superiores ao outro método.

**Tabela 4.** Estratégias de seleção para o caractere DAP em um teste de procedências e progênies de *Balfourodendron riedelianum* em duas condições: A ( $k_f = \forall$ ) e B ( $k_f = 12$ ).

**Table 4.** Selection strategies for the DAP trait in a provenance and progeny test of *Balfourodendron riedelianum* under two conditions: A ( $k_f = \forall$ ) and B ( $k_f = 12$ ).

| Alvorada do Sul-PR     |        |            |       | Gália-SP        |        |            |       | Bauru-SP        |       |            |       |
|------------------------|--------|------------|-------|-----------------|--------|------------|-------|-----------------|-------|------------|-------|
| $k_f = \forall$        |        | $k_f = 12$ |       | $k_f = \forall$ |        | $k_f = 12$ |       | $k_f = \forall$ |       | $k_f = 12$ |       |
| Progênie               | $k_f$  | Progênie   | $k_f$ | Progênie        | $k_f$  | Progênie   | $k_f$ | Progênie        | $k_f$ | Progênie   | $k_f$ |
| 1                      | 14     | 1          | 12    | 39              | 21     | 39         | 12    | 20              | 16    | 20         | 12    |
| 4                      | 16     | 4          | 12    | 40              | 3      | 40         | 12    | 22              | 18    | 22         | 12    |
| 5                      | 10     | 5          | 12    | 41              | 21     | 41         | 12    | 23              | 18    | 23         | 12    |
| 6                      | 0      | 6          | 12    | 42              | 23     | 42         | 12    | 24              | 14    | 24         | 12    |
| 7                      | 8      | 7          | 12    | 43              | 6      | 43         | 12    | 25              | 1     | 25         | 12    |
| 8                      | 8      | 8          | 12    | 44              | 2      | 44         | 12    | 26              | 19    | 26         | 12    |
| 9                      | 16     | 9          | 12    | 46              | 16     | 46         | 12    | 27              | 3     | 27         | 12    |
| 10                     | 5      | 10         | 12    | 47              | 3      | 47         | 12    | 28              | 6     | 28         | 12    |
| 11                     | 15     | 11         | 12    | 48              | 18     | 48         | 12    | 30              | 16    | 30         | 12    |
| 12                     | 17     | 12         | 12    | 49              | 6      | 49         | 12    | 31              | 18    | 31         | 12    |
| 14                     | 11     | 14         | 12    | 50              | 0      | 50         | 12    | 32              | 9     | 32         | 12    |
| 17                     | 16     | 17         | 12    | 51              | 13     | 51         | 12    | 33              | 9     | 33         | 12    |
| 18                     | 20     | 18         | 12    | 52              | 6      | 52         | 12    | 34              | 19    | 34         | 12    |
|                        |        |            |       | 53              | 17     | 53         | 12    | 35              | 17    | 35         | 12    |
|                        |        |            |       | 54              | 19     | 54         | 12    | 36              | 8     | 36         | 12    |
|                        |        |            |       | 55              | 23     | 55         | 12    | 37              | 1     | 37         | 12    |
|                        |        |            |       | 56              | 5      | 56         | 12    | 38              | 12    | 38         | 12    |
|                        |        |            |       | 57              | 14     | 57         | 12    |                 |       |            |       |
| $n$                    | 156    | 156        |       | 216             | 216    |            |       | 204             |       | 204        |       |
| $N_{fo}$               | 13     | 13         |       | 18              | 18     |            |       | 17              |       | 17         |       |
| $N_f$                  | 12     | 13         |       | 17              | 18     |            |       | 12              |       | 12         |       |
| $\bar{k}_f$            | 13     | 12         |       | 12,70           | 12     |            |       | 12              |       | 12         |       |
| $\sigma_{\bar{k}_f}^2$ | 20,36  | 0          |       | 59,09           | 0      |            |       | 41,25           |       | 0          |       |
| $N_e$                  | 36     | 42         |       | 42              | 58     |            |       | 31              |       | 38         |       |
| $\mu(cm)$              | 13,36  | 13,36      |       | 15,06           | 15,06  |            |       | 15,94           |       | 15,94      |       |
| $\alpha(cm)$           | 0,0025 | 0,0016     |       | 0,0164          | 0,0093 |            |       | 0,5305          |       | 0,2971     |       |
| $G_z(\%)$              | 0,1    | 0,1        |       | 0,1             | 0,1    |            |       | 3,3             |       | 1,7        |       |
| $E_f(\%)$              | 58,2   | -          |       | 76,3            | -      |            |       | 78,6            |       | -          |       |

$n$ ,  $N_{fo}$  e  $N_f$  são o número de indivíduos selecionados, progênies testadas e progênies selecionadas, respectivamente;  $k_f$  e  $\bar{k}_f$  são o número e número médio de indivíduos selecionados por progênie, respectivamente;  $\sigma_{\bar{k}_f}^2$ : variância do número de indivíduos selecionados por progênie;  $N_e$ : tamanho efetivo;  $\mu$ : média geral;  $\alpha$ : efeito genético aditivo = IME: Índice Multi-efeito;  $G_z(\%)$ : ganho na seleção;  $E_f(\%)$ : eficiência do IME em relação à seleção entre e dentro de progênies.

Em suma, os resultados indicam que as progênies da procedência de Bauru, embora composta por apenas 17 progênies de polinização aberta, tem substancial variabilidade genética, bom controle genético nos caracteres para ser explorada pela seleção das melhores progênies na região de Bauru, SP. Esta variabilidade genética pode ser explorada pela seleção das melhores progênies para os caracteres estudados, dando origem a um pomar de sementes por mudas. Porém, para as demais procedências os valores destes parâmetros foram baixos, embora sejam compostas por 13 progênies (Alvorada do Sul) e 18 progênies (Gália), sugerindo uma nova amostragem destas duas populações deve ser feito novamente para um novo banco de germoplasma da espécie. Comparando as simulações das progênies das três procedências, ressalta-se que os ganhos de seleção foram baixos, o que já se esperava pelos valores de baixa magnitude dos parâmetros genéticos, em especial a herdabilidade que mostrou que as seleções deveriam ser voltadas para as famílias e não para os indivíduos.

## CONCLUSÕES

1) Existe variabilidade genética entre as procedências para maioria dos caracteres quantitativos estudados.

2) O controle genético dos caracteres silviculturais é fraco em nível de plantas individuais, mas é substancial em nível de média de progênies, especialmente para os caracteres de crescimento.

3) Para formação de pomar de sementes no presente teste de procedências e progênies deve-se adotar uma intensidade de seleção de 60% dos indivíduos remanescentes.

4) Em razão dos baixos valores obtidos no ganho esperado na seleção, a próxima geração de melhoramento deve apresentar baixos incrementos médios para o caractere diâmetro à altura do peito, mas manterá níveis apropriados de variabilidade genética, visto que a seleção será realizada apenas dentro das progênies.

## AGRADECIMENTOS

Aos pesquisadores Ana Cristina Machado de Franco Siqueira e José Carlos Bolliger Nogueira responsáveis pela implantação e conservação do teste de progênies e procedências. Ao técnico Nadir dos Santos Ferreira pela manutenção dos plantios e orientação durante a avaliação dos

testes de progênies na Floresta Estadual de Pederneiras, SP. A Selma Maria Bozzite de Moraes pelo auxílio e orientação durante coleta de dados no campo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas; Colombo: Embrapa Floresta, 2003. v. 2. 627 p.

DURIGAN, G.; FIGLIOLIA, M. B.; KAWABATA, M.; GARRIDO, M. A. O.; BAITELLO, J. B. **Sementes e mudas de árvores tropicais**. 2.ed. São Paulo: Páginas & Letras, 2002, 65 p.

FARIAS, J. A. C.; OLIVEIRA, O. S.; FRANCO, E. T. H. Crescimento inicial do guatambu, *Balfourodendron riedelianum* (Eagl.), em diferentes intensidades luminosas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 69-86, 1995.

FREITAS, M. L. M.; AUKAR, A. P. A.; SEBBENN, A. M.; MORAES, M. L. T.; LEMOS, E. G. M. Variação genética em progênies de *Myracrodruon urundeuva* F.F. & M.F. Allemão em três sistemas de cultivo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 319-329, 2006.

FREITAS, M. L. M.; SEBBENN, A. M.; ZANATTO, A. C. S.; MORAES, E. Pomar de sementes por mudas a partir da seleção dentro em teste de progênies de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 65-72, 2007.

FREITAS, M. L. M.; SEBBENN, A. M.; ZANATTO, A. C. S.; MORAES, E.; MORAES, M. A. Variação genética para caracteres quantitativos em população de *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 165-173, 2008.

KOEPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Económica. 1948, 479 p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Plantarum, 1992. 352 p.

MASTELIN, S. M.; LIMA, I. L.; ZANON, B. R.; LONGUI, E. L. FLORSHEIM, S. M. B. **Densidade básica e dimensões celulares da madeira de *Balfourodendron riedelianum* em função da procedência e variação radial**. São Paulo: Instituto Florestal, 2010, p. 23-29. (Série Registros, 42)



- PAULA, J. E.; ALVES, J. L. H. **Madeiras nativas**. Brasília: MOA, 2007. 541 p.
- PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.
- PINTO, S. I. C.; SOUZA, A. M.; CARVALHO, D. Variabilidade genética por isoenzimas em populações de *Copaifera langsdorffii* Desf. em dois fragmentos de mata ciliar. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 65, p. 40-48, 2004.
- RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2002. 975 p.
- RESENDE, M. D. V. **Matemática e estatística na análise de experimento e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007a. 362 p.
- RESENDE, M. D. V. **Software SELEGEN – REML/BLUP: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007b. 359 p.
- RESENDE, M. D. V.; HIGA, A. R. Maximização da eficiência da seleção em testes de progênies de *Eucalyptus* através da utilização de todos os efeitos do modelo matemático. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 28/29, p. 37-55, 1994.
- SEBBENN, A. M.; COELHO, A. S. G.; KAGEYAMA, P. Y.; ZANATTO, A. C. S. Depressão por endogamia em populações de jequitibá-rosa. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 61-81, 2001.
- SEBBENN, A. M.; ETTORI, L. C. Conservação genética *ex situ* de *Esenbeckia leiocarpa*, *Myracrodruon urundeuva* e *Peltrothorum dubium* em teste de progênies misto. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 13, n. 2, p. 201-211, 2001.
- SEBBENN, A. M.; FREITAS, M. L. M.; ZANATTO, A. C. S.; MORAES, E.; MORAES, M. A. Conservação *ex situ* e pomar de sementes em banco de germoplasma de *Balfourodendron riedelianum*. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 101-112, 2007.
- SEBBENN, A. M.; SIQUEIRA, A. C. M. F.; KAGEYAMA, P. Y.; MACHADO, J. A. R. Parâmetros genéticos na conservação da cabreúva – *Myroxylon peruiferum* L.F. Allemão. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 53, p. 31-38, 1998.
- SEGARRA MORAGUES, J. G.; PALOP ESTEBAN, M.; GONZÁLEZ, C. F.; CATALÁN, P. On the verge of extinction genetics of the critically endangered Iberian plant species *Boderea chouardii* (Dioscoreaceae) and implications for conservation management. **Molecular Ecology**, Vancouver, v. 14, n. 4, p. 969-982, 2005.
- TUNG, E. S. C.; FREITAS, M. L. M.; FLORSHEIM, S. M. B.; LIMA, I. L.; LONGUI, E. L.; SANTOS, F. W.; MORAES, M. L. T.; SEBBENN, A. M. Variação genética para caracteres silviculturais e anatômicos da madeira em progênies de *Myracrodruon urundeuva* (Engler) Fr. Allem. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 499-508, 2010.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496 p.

Recebido em 21/02/2014

Aceito para publicação em 12/02/2015

