

CONSERVAÇÃO GENÉTICA *EX SITU* DE *Esenbeckia leiocarpa*,
Myracrodruon urundeuva E *Peltophorum dubium* EM TESTE DE PROGÊNIES MISTO*

Alexandre Magno SEBBENN**
Lígia de Castro ETTORI**

RESUMO

O objetivo deste estudo foi investigar a eficiência da conservação *ex situ* da variabilidade genética de três espécies arbóreas tropicais brasileiras, *Esenbeckia leiocarpa*, *Myracrodruon urundeuva* e *Peltophorum dubium*, em plantio misto, segundo estágios sucessionais. O ensaio misto foi instalado em 1992 na Estação Experimental de Pederneiras do Instituto Florestal de São Paulo, com material de 24 a 26 progênies de polinização aberta, coletadas em populações naturais das espécies no Estado de São Paulo. No ano de 2000 o ensaio foi avaliado para altura total, DAP e sobrevivência. *E. leiocarpa* e *P. dubium* cresceram melhor em plantio combinado, comparativamente a plantios puros. A análise da variância detectou variabilidade genética entre progênies significativas pelo teste F para todos os caracteres nas três espécies. O coeficiente de variação genética entre progênies foi alto para os caracteres nas três espécies, exceto para a sobrevivência de plantas em *E. leiocarpa*. Os coeficientes de herdabilidade foram altos para os caracteres altura e DAP, nas três espécies, indicando que o controle genético é forte e há possibilidade de melhoramento genético via seleção. A amostragem realizada para conservar as espécies garantiu com mais de 98% de probabilidade, a presença de alelos raros (frequência 0,05) e o tamanho efetivo (\hat{N}_e) mostrou-se adequado para a conservação de *E. leiocarpa* e *P. dubium* a curto prazo. Para *M. urundeuva* o \hat{N}_e foi menor que o mínimo requerido para a conservação, sendo portanto, necessário aumentar a amostragem.

Palavras-chave: conservação genética *ex situ*; variação genética; parâmetros genéticos; espécies arbóreas tropicais; teste de progênies combinado.

1 INTRODUÇÃO

A conservação genética *ex situ* de essências florestais, daquelas que se encontram em risco de extinção, objetiva a manutenção da variabilidade genética fora do seu ambiente natural, para uso atual ou futuro. Com a acelerada fragmentação e exploração dos ecossistemas florestais no último século, muitas espécies

ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the genetic variability of three tropical tree species, *Esenbeckia leiocarpa*, *Myracrodruon urundeuva* and *Peltophorum dubium*, grown in mixed plots for *ex situ* genetic conservation. From 24 to 26 open-pollinated families were sampled in populations of each species in São Paulo State in 1992. In the year 2000, the trial was evaluated to tree height, DBH and survival. *E. leiocarpa* and *P. dubium* had better performance in the mixed plots than in reported homogeneous plots. Analysis of variance (F test) detected significant genetic variability among families for all traits in all species. The coefficient of genetic variation among families was high for these traits in all species, except to survival of *E. leiocarpa*. The heritabilities were high for height and DBH in three species, indicating that genetic control of these traits was high and the possibility of genetic improvement by selection was good. The sampling strategies were enough to keep with a high probability rare alleles (frequency 0.05) and the populational effective size (\hat{N}_e) of *E. leiocarpa* and *P. dubium* was sufficient for short-term genetic conservation. To *M. urundeuva*, the \hat{N}_e was smaller than the minimum required for genetic conservation and it is necessary to resample for genetic variation. These results suggest that, in general, the strategy of *ex situ* genetic conservation was efficient.

Key words: *ex situ* genetic conservation; genetic variation; genetic parameters; tropical tree species; combined test of progenies.

arbóreas brasileiras sofreram uma drástica redução no número e tamanho de suas populações. A redução no número de populações, possivelmente tenha levado à perda de genes adaptados a ambientes específicos de colonização das espécies e a redução contínua no tamanho de muitas populações, pode estar submetendo-as a constantes perdas de variabilidade genética por deriva genética.

(*) Aceito para publicação em dezembro de 2001.

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

A deriva genética, com o passar das gerações, leva ao aparecimento da depressão por endogamia, caracterizada pela redução na capacidade adaptativa às mudanças ambientais, redução na fertilidade, vigor, porte, produtividade, etc. (Allard, 1971; Ritland, 1996; Falconer & Mackay, 1997). Em essências florestais a depressão por endogamia encontra-se bem documentada podendo-se citar, entre outros estudos, o de Sorensen & Miles (1974), Libby *et al.* (1981), Durel *et al.* (1990), Koelewijn *et al.* (1999) e Sebbenn *et al.* (2001).

A perda de populações com características genéticas específicas é hoje, provavelmente, um quadro irreversível, restando apenas a possibilidade de conservar as populações remanescentes. A redução no tamanho das populações pode ser revertida por práticas de manejo de reposição, quando a população for detectada como em vias de extinção ou apresentar níveis altos de endogamia e parentesco e baixo tamanho efetivo. É também necessário, para maior garantia da sobrevivência dessas populações, a conservação *ex situ* da sua variabilidade genética. Para isso, é necessária a atuação em duas diferentes frentes, a genética e a ambiental. A genética refere-se à amostragem de variabilidade genética suficiente que garanta o potencial evolutivo das espécies alvo da conservação. A ambiental refere-se ao fornecimento de características ambientais capazes de garantir condições ótimas para sua plena adaptação. A amostragem adequada das populações e a implantação dos bancos em plantios, combinando várias espécies, pode satisfazer em parte estas necessidades.

Com este intuito, o Programa de Conservação Genética do Instituto Florestal de São Paulo (PCGIF), vem desde 1990, instalando bancos *ex situ* em plantios combinando espécies de vários estágios sucessionais. Um desses ensaios combina três espécies arbóreas nativas brasileiras de ocorrência no Estado de São Paulo, *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub., pioneira, *Myracrodruon urundeuva* F.F. & M.F. Allemão, secundária e, *Esenbeckia leiocarpa* Engl., climáxica. Detalhes sobre estas espécies podem ser encontrados em Lorenzi (1992) e Carvalho (1994).

Tendo em vista a alta taxa de fragmentação das florestas do Estado de São Paulo e a importância ecológica e utilitária destas três espécies (Lorenzi, 1992 e Carvalho, 1994), este estudo teve

como principal objetivo avaliar a eficiência amostral da conservação genética *ex situ* em plantio combinando espécies de diferentes estágios sucessionais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Amostragem e Delineamento Experimental

O banco de conservação *ex situ* foi instalado combinando três espécies arbóreas tropicais de diferentes estágios sucessionais: *P. dubium* como pioneira, *M. urundeuva* como secundária e *E. leiocarpa* como climáxica. As sementes utilizadas para o plantio foram originadas de polinização livre. Para o *P. dubium* foram coletadas sementes em 26 árvores, sendo parte retiradas na Estação Ecológica de Bauru e parte em fazenda particular no município de Pederneiras, SP. As sementes de *M. urundeuva* foram coletadas de 24 árvores em floresta particular no município de Iacanga-SP e em árvores remanescentes ao longo da estrada Bauru-Arealva. Para *E. leiocarpa* foram coletadas sementes de 26 árvores, sendo parte na Estação Ecológica de Caetetus, parte em três fragmentos florestais no município de Boracéia e parte em dois fragmentos no município de Bauru. Para fins da estimativa de parâmetros genéticos assumiu-se que as amostras de cada espécie representavam uma população.

Os municípios onde ocorreram as colheitas se encontram entre as coordenadas geográficas 22° a 23°S, 48° a 50°W, altitude de 500 a 600 m, precipitação média anual entre 1.200 a 1.500 mm e clima tipo Cwa (Ventura *et al.*, 1965/66). O teste de progênies misto com as três espécies foi instalado em 1992 na Estação Experimental de Pederneiras, SP (22°22'S, 48°44'W, altitude 500 m, precipitação média anual de 1.112 mm, solo do tipo Latossolo Amarelo, fase arenosa e clima do tipo Cwa) no delineamento de blocos ao acaso, com 6 repetições e parcelas lineares de 5 plantas. Contudo, devido às fortes geadas ocorridas no ano de 1994, a maioria das mudas de *E. leiocarpa* não resistiu, vindo a morrer. Foram então replantadas usando mudas excedentes do plantio original. O espaçamento entre plantas de mesma espécie foi de 3 x 3 m e entre espécies de 1,5 x 1,5 m (FIGURA 1). Os caracteres altura e DAP foram medidos no ano 2000, quando as espécies estavam com 8 anos de idade.

SEBBENN, A. M.; ETTORI, L. de C. Conservação genética *ex situ* de *Esenbeckia leiocarpa*, *Myracrodruon urundeuva* e *Peltophorum dubium* em teste de progênies misto.

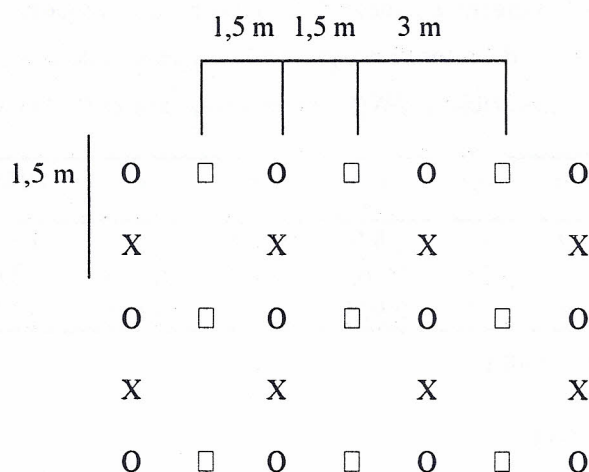


FIGURA 1 - Esquema de plantio misto com *P. dubium* (□), *M. urundeuva* (O) e *E. leiocarpa* (X).

2.2 Análise Estatística

As análises das variâncias para os caracteres foram realizadas em nível de médias de parcelas. Para *P. dubium* e *E. leiocarpa* houve problemas de identificação dos tratamentos no bloco 6, sendo este descartado das análises. Para *E. leiocarpa*, devido à alta mortalidade aos 2 anos de idade, realizou-se uma análise da variância para o caráter sobrevivência de plantas, transformando-se a proporção de plantas sobreviventes por parcela para $\sqrt{x + 0,5}$ (Stell & Torrie, 1980). Foram, então, testadas as hipóteses sobre as variâncias e estimados seus componentes, por caráter, segundo modelo aleatório e expressões:

$$Y_{ijk} = m + b_j + t_i + e_{ij}$$

em que, m é a média geral; b_j é o efeito do bloco j ; t_i é o efeito da progênie i ; e_{ij} é o erro experimental (ou erro entre), ou ainda, o efeito da progênie i no bloco j .

A variância fenotípica dentro das parcelas ($\hat{\sigma}_d^2$) foi obtida pela média ponderada dos quadrados médios dentro das parcelas. A variância genética aditiva ($\hat{\sigma}_A^2$) foi estimada assumindo dois modelos genéticos: i) modelo aleatório (MI), $\hat{\sigma}_A^2 = 4\hat{\sigma}_p^2$; ii) modelo misto (MS): $\hat{\sigma}_A^2 = \hat{\sigma}_p^2 / \hat{r}_{xy}$, sendo que, $\hat{\sigma}_p^2$ é a estimativa da variância genética entre progênies;

\hat{r}_{xy} é o coeficiente de parentesco entre plantas dentro de progênies de reprodução mista (Ritland, 1989): $\left\{ \frac{1}{4} (1 + \hat{F}) [4\hat{s} + (\hat{t}^2 + \hat{s} \hat{t} \hat{r}_s)(1 + \hat{r}_p)] \right\}$;

em que, \hat{s} = taxa de autofecundação; \hat{t}_m = taxa de cruzamento multilocus; \hat{r}_s = correlação de autofecundação; \hat{r}_p = correlação de paternidade;

\hat{F} = índice de fixação na geração parental. A aplicação do modelo completo de Ritland (1989) requer a avaliação de progênies de autofecundações, irmãos-completos e meios-irmãos, para se obter todos os componentes quadráticos da variância genética entre progênies. Como as plantas ensaiadas foram originadas de polinização aberta e não se conhecia exatamente a relação de parentesco entre estas, os componentes referentes à variância genética de dominância (σ_D^2), covariância entre efeitos aditivos e de dominância dos homozigotos (D_1), variância genética dos efeitos de dominância dos homozigotos (D_2) e, o quadrado da depressão por endogamia (H) não puderam ser estimados, sendo assumidos como nulos. Como o sistema de reprodução das espécies não foi aqui avaliado, os parâmetros s , t_m , r_s , r_p e F foram inferidos da literatura (TABELA 1).

TABELA 1 - Populações (Pop.), número de locos (nl), número de progênes (np), taxa de cruzamento multilocos (\hat{t}_m), taxa de autofecundação (\hat{S}), correlação de paternidade (\hat{r}_p), proporção de indivíduos de autofecundação ($P[IS]$), irmãos-completos ($P[IC]$) e meios-irmãos ($P[MI]$).

Espécie	Pop.	nl	np	\hat{t}_m	\hat{S}	\hat{r}_p	$P[IS]$	$P[IC]$	$P[MI]$
<i>P. dubium</i> ^a	Média	9	---	0,874	0,126	---	0,126	---	---
<i>M. urundeuva</i> ^b	Bauru	3	25	0,562	0,438	0,665	0,438	0,373	0,188
<i>E. leiocarpa</i> ^c	Ibicatu	9	10	0,925	0,075	0,986	0,075	0,912	0,013

(a) Média de 14 populações (Mori, 2000).

(b) Pop. Bauru (Moraes, 1993).

(c) Pop. Ibicatu (Seoane *et al.*, 2001).

As estimativas dos coeficientes de herdabilidade em nível de plantas individuais (\hat{h}_i^2), entre médias de progênes (\hat{h}_m^2), dentro de progênes (\hat{h}_d^2) e coeficiente de variação genética entre progênes (CV_g) foram obtidas segundo Vencovsky (1969).

A probabilidade de amostrar um alelo de frequência q , em um loco, foi estimada pela probabilidade de amostrar separadamente progênes de autofecundação, irmãos-completos e meios-irmãos, ponderada pelas suas respectivas proporções nas populações. A probabilidade de uma amostra de m árvores maternas alógamas conter um alelo de frequência q , em um loco, quando são coletadas k sementes de indivíduos de autofecundação ($P[IS]$), irmãos-completos ($P[IC]$) e meios-irmãos ($P[MI]$) é, segundo Brown & Hardner (2000):

$$P[IS] = \left[1 - 2q \left(1 - \frac{1}{2^k} \right) \right]^m$$

$$P[IC] = \left[1 - 2q \left(1 - \frac{1}{2^k} \right) \right]^{2m}$$

$$P[MI] = (1 - q)^{mk} \left[1 - 2q \left(1 - \frac{1}{2^k} \right) \right]^m$$

A probabilidade simultânea de amostrar um alelo q , foi então obtida por:

$$P[IS; IC; MI] = AxP[IS] + BxP[IC] + CxP[MI],$$

em que, $A = k_{(IS)}/k$, é a proporção de irmãos de autofecundação ($k_{(IS)}$); $B = k_{(IC)}/k$ é a proporção de irmãos-completos ($k_{(IC)}$), e $C = k_{(MI)}/k$, é a proporção de meios-irmãos ($k_{(MI)}$). Tem-se assim, que em um conjunto de k plantas originadas de polinização aberta de uma espécie de reprodução mista, $A + B + C = 1$. As proporções de cada tipo de progênes nas espécies encontram-se na TABELA 1. O tamanho efetivo (\hat{N}_e) foi estimado considerando as espécies como de reprodução aleatória e mista, antes e após a seleção. O tamanho efetivo para espécies de reprodução aleatória foi estimado com base em Vencovsky (1978):

$$\hat{N}_{e(MI)} = \frac{4m\bar{n}}{\frac{\hat{\sigma}_n^2}{\bar{n}} + \bar{n} + 3}$$

em que, m é o número de progênes; \bar{n} é a média do número de plantas por progênic, e $\hat{\sigma}_n^2$ é a estimativa da variância do número de plantas por progênes.

O tamanho efetivo para espécies de reprodução mista foi estimado com base em Sebbenn *et al.* (2001)*:

$$\hat{N}_e = \left(\frac{1}{2\hat{\theta}} \right) m$$

em que, $\hat{\theta}$ é o coeficiente de parentesco médio dentro das progênes e m é o número de progênes.

(*) SEBBENN, A. M.; VENCOVSKY, R.; KAGEYAMA, P. Y. Tamanho e número de populações para a conservação *in situ* e *ex situ* de essências florestais. Instituto Florestal, 2001. 54 p. (Em preparação).

$$\hat{\theta} = \left| \frac{k^2}{0,25k_{IS}[1-F+2k_{IS}(1+F)]+0,25(1+F)k_{IC}(1+k_{IC})+0,125(1+F)k_{MI}(3+k_{MI})+0,25(1+F)[2k_{IS}(k_{IC}+k_{MI})+k_{IC}k_{MI}]} \right|$$

em que, $k_{IS} = \hat{S}k$ é a proporção de progênies de irmãos de autofecundação; $k_{IC} = \hat{r}_p \hat{t}_m k$ é a proporção de progênies de irmãos-completos; $k_{MI} = (\hat{t}_m - \hat{r}_p \hat{t}_m)k$ é a proporção de progênies de meios-irmãos; $k = k_{IS} + k_{IC} + k_{MI}$ é o número de plantas por progênie; \hat{t}_m é a taxa de cruzamento multilocos; \hat{S} é a taxa de autofecundação, e \hat{r}_p é a correlação de paternidade. Para estas estimativas, deve-se contudo, assumir que as proporções de irmãos de autofecundação, irmãos-completos e meios-irmãos são constantes para todos os cruzamentos individuais.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de variância e a estimativa dos parâmetros genéticos para os caracteres nas espécies são apresentados na TABELA 2. A análise da variância detectou variabilidade genética entre progênies, significativas pelo teste F, para os caracteres nas três espécies, indicando a possibilidade de ganhos com a seleção entre progênies nas espécies.

A detecção de diferenças significativas para sobrevivência em *E. leiocarpa*, mostra que a espécie apresenta variabilidade genética potencial para adaptação na região de Pederneiras e a possibilidade de seleção das melhores progênies para resistência à geadas. Já as outras duas espécies apresentaram taxa de sobrevivência maior que 97%, indicando adaptação ao local de experimentação.

Os valores do coeficiente de variação experimental (CV_{exp}) variaram de baixos (12,3%) a médios (27,9%), mostrando razoável controle experimental. Foram observados valores médios de CV_{exp} para DAP (27,9%) e ALT (20,4%) em *E. leiocarpa* e para ALT (22,8%) em *P. dubium*. Para o restante das análises o CV_{exp} foi baixo. Os maiores valores de CV_{exp} para *E. leiocarpa* podem ser atribuídos à transformação de parte dos dados, para corrigir os efeitos do replantio aos 3 anos de experimentação.

O comportamento do crescimento médio e incremento médio anual (IMA) dos caracteres altura e DAP, entre as três espécies, apresentou-se de acordo com o esperado pela teoria de sucessão, ou seja, *P. dubium*, a espécie pioneira, teve o maior desenvolvimento, seguida de *M. urundeuva*, a espécie secundária, e de *E. leiocarpa*, a climáxica (TABELA 2).

O incremento médio anual (IMA) permite comparar os crescimentos observados para as espécies, com outros relatados na literatura. O IMA observado para altura de *E. leiocarpa* (0,58 m) foi muito superior ao encontrado por Vitti *et al.* (1992) para 14 progênies procedentes de Bauru (0,13 m) e 19 progênies procedentes de Ibicatu (0,20 m) (TABELA 3), plantadas na Estação Experimental de Anhembi-SP, sugerindo melhor adaptação da espécie às condições edafoclimáticas de Pederneiras e/ou devido ao plantio misto. O IMA observado para altura de *M. urundeuva* (0,89 m) foi menor que o observado por Moraes *et al.* (1992), aos 4 anos, em plantio puro, para 28 progênies procedentes de Bauru (0,97 m) e 28 procedentes de Selvíria (0,92 m), plantadas em Selvíria. Oliveira *et al.* (2000) observaram em *M. urundeuva* aos 23 meses de idade, maior crescimento em altura, sobrevivência, melhor forma e menor número de ramificações em relação ao fuste principal, em ensaio misto, comparativamente ao ensaio puro. Por sua vez, o IMA detectado para altura (1,14 m) e DAP (1,26 cm) aos 8 anos em *P. dubium*, foram maiores que os reportados por Sebbenn *et al.* (1999) para 28 progênies também procedentes de Bauru (Pop. I, ALT = 1,05 m e DAP = 1,16 cm, respectivamente) e 30 progênies procedentes de Alvorada do Sul-PR (Pop. II, ALT = 1,04 m e DAP = 1,25 cm, respectivamente), plantadas em plantio puro no mesmo local de experimentação (Pederneiras). Os maiores crescimentos observados para *P. dubium* e *E. leiocarpa* em plantio misto, comparativamente aos observados na literatura em plantios puros, de modo geral, sugerem que o plantio misto é vantajoso para a adaptação e desenvolvimento das espécies, resultando em maiores IMA.

TABELA 2 - Graus de liberdade (GL), quadrados médios (QM), significância da análise da variância, coeficiente de variação experimental (CV_{exp}), média de crescimento e incremento médio anual (IMA), coeficiente de variação genética (CV_g), variância genética aditiva ($\hat{\sigma}_A^2$), coeficiente de herdabilidade no sentido restrito em nível de plantas (\hat{h}_i^2), para a média das progênes (\hat{h}_m^2) e dentro de progênes (\hat{h}_d^2), para os caracteres DAP, altura (ALT) e sobrevivência (SOB) para *P. dubium*, *M. urundeuva* e *E. leiocarpa*.

FV	<i>Peltophorum dubium</i>			<i>Myracrodruon urundeuva</i>			<i>Esenbeckia leiocarpa</i>			
	GL	DAP (cm)	ALT (m)	GL	DAP (cm)	ALT (m)	GL	DAP (cm)	ALT (m)	SOB
Blocos	4	3,4786**	10,8666**	5	2,4042**	2,7527**	4	2,8197**	2,5170**	0,0375*** ^a
Progênes	25	15,0412**	9,3908**	23	4,7707**	4,0654**	25	0,5234**	0,9226**	0,0174** ^a
Erro	100	1,6452	4,3647	115	0,9231	0,7757	95	0,2298	0,3564	0,0102 ^a
Dentro	513	1,1922	3,6314	558	1,0040	0,7482	395	0,7058	0,4578	
CV_{exp} (%)		12,74	22,8		14,2	12,3		27,9	20,4	12,7
Média		10,08	9,15		6,75	7,15		2,00	2,92	13,7
IMA		1,26	1,14		0,45	0,89		0,40	0,58	---
CV_g (%)		16,2	10,96		13,0	11,3		12,1	11,5	4,78
$\hat{\sigma}_A^2$ (MI)		10,7168	4,0209		3,0780	2,6318		0,2349	0,4530	---
\hat{h}_i^2 (MI)		1,33	0,28		0,64	0,48		0,28	0,54	---
\hat{h}_m^2 (MI)		0,89	0,54		0,83	0,84		0,56	0,61	0,41
\hat{h}_d^2 (MI)		1,71	0,26		0,59	0,39		0,25	0,74	---
$\hat{\sigma}_A^2$ (MS)		6,2284	2,3368		2,6197	1,4845		0,1166	0,2251	---
\hat{h}_i^2 (MS)		0,77	0,16		0,27	0,08		0,14	0,27	---
\hat{h}_d^2 (MS)		0,76	0,12		0,14	0,04		0,08	0,24	---

(*) $P \geq 0,05$

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

(a) ANAVA com dados transformados em $\sqrt{x + 0,5}$.

MI = modelo aleatório; MS = modelo misto (Ritland, 1989); Sob = sobrevivência aos 2 anos em *E. leiocarpa*; *E. leiocarpa* - sobrevivência = 86%; *M. urundeuva* sobrevivência = 97,5%; *P. dubium* sobrevivência = 98,9%.

Nota: não foram apresentadas as estimativas da herdabilidade em nível de progênes para o modelo misto [\hat{h}_i^2 (MS)], porque como esta utiliza apenas a variância genética entre progênes no seu cálculo, ela é idêntica a estimativa obtida para o modelo aleatório (MI).

SEBBENN, A. M.; ETTORI, L. de C. Conservação genética *ex situ* de *Esenbeckia leiocarpa*, *Myracrodruon urundeuva* e *Peltophorum dubium* em teste de progênes misto.

TABELA 3 - Número de progênes (np), média (\bar{x}), incremento médio anual (IMA), coeficiente de variação genética (CV_g), coeficiente de herdabilidade restrito em nível de plantas (\hat{h}_i^2), média de progênes (\hat{h}_m^2) e dentro de progênes (\hat{h}_d^2).

Espécie	População	Local	Id.	Caráter	np	\bar{x}	IMA	CV_g (%)	\hat{h}_i^2	\hat{h}_m^2	\hat{h}_d^2
<i>P. dubium</i> ^c	Bauru ^d	PE	8	ALT (m)	28	8,43	1,05	6,6	0,39	0,61	---
	Bauru ^d	PE	8	DAP (cm)	28	9,29	1,16	12,4	0,54	0,81	---
<i>M. urundeuva</i> ^b	Bauru	SE	3,5	ALT (m)	28	3,87	0,97	3,3	0,08	0,13	0,09
	Selvíria	SE	3,5	ALT (m)	28	3,68	0,92	3,1	0,07	0,16	0,06
<i>E. leiocarpa</i> ^a	Bauru	AN	3	ALT (m)	14	0,51	0,13	19,2	0,85	---	---
	Ibicatu	AN	3	ALT (m)	19	0,59	0,20	14,3	0,68	---	---

(a) Vitti *et al.*, 1992.

(b) Moraes *et al.*, 1992.

(c) Sebbenn *et al.*, 1999.

(d) Refere-se à Pop. I, no texto original.

PE = Pederneiras-SP; SE = Selvíria-MS; AN = Anhembi-SP; Id = idade; np = número de progênes.

Como existem relatos de que estas espécies apresentam sistema misto de reprodução (Moraes, 1993; Lacerda, 1997; Mori, 2000; Scoane *et al.*, 2000) e diferentes graus de parentesco dentro das progênes (TABELA 1), estimou-se a variância genética aditiva ($\hat{\sigma}_A^2$) e os coeficientes de herdabilidade em nível de plantas individuais (\hat{h}_i^2) e dentro de progênes (\hat{h}_d^2), assumindo as progênes como meios-irmãos (MI) e como de reprodução mista (MS) (TABELA 2).

O coeficiente de variação genética entre progênes (CV_g) foi alto (> 10%) para os caracteres DAP e altura nas três espécies, revelando que as espécies têm potencial para a conservação genética e em concordância ao teste F da análise da variância, que as espécies têm potencial para a seleção entre progênes. O CV_g encontrado para altura em *E. leiocarpa* foi menor que o reportado por Vitti *et al.* (1992). Já o CV_g encontrado para altura em *M. urundeuva* e altura e DAP em *P. dubium* foram maiores que os apresentados por Moraes *et al.* (1992) e Sebbenn *et al.* (1999), respectivamente (TABELA 3).

Os altos valores encontrados para o CV_g nas espécies devem estar associados à extensão da amostragem realizada. A coleta de sementes em

áreas amplas e em árvores isoladas, em beiras de estradas, campos, pastagens, etc., reduz a probabilidade de amostrar indivíduos aparentados, mas aumenta a probabilidade de incluir progênes de autofecundação e irmãos-completos nos testes, fatores que podem aumentar a variância genética entre progênes. Árvores isoladas em espécies autocompatíveis podem praticar taxas maiores de autofecundações e/ou cruzamentos preferenciais do que árvores estabelecidas em agrupamentos densos, devido ao comportamento forrageiro dos polinizadores visitando flores dentro da mesma árvore ou visitando sistematicamente árvores próximas. Murawski & Hamrick (1991) observaram que a densidade populacional e a densidade de florescimento individual influenciava a taxa de cruzamento em 9 espécies arbóreas tropicais. Baixas densidades populacionais e densidade de florescimento propiciavam menores taxas de cruzamento. Progênes de polinização livre, coletadas em árvores isoladas ou espacialmente dispersas que praticarem altas taxas de autofecundações ou cruzamentos preferenciais terão maior covariância genética dentro de progênes, gerando maior variância genética entre progênes. Assim, as progênes ensaiadas podem ser constituídas de meios-irmãos, irmãos-completos e/ou irmãos de autofecundação, o que explicaria a alta variação genética observada entre progênes.

O coeficiente de herdabilidade para a média das progênies (\hat{h}_m^2) foi alto para todos os caracteres nas três espécies (mínimo de 0,41 para sobrevivência em *E. leiocarpa*), indicando um forte controle genético dos caracteres e alto potencial para o melhoramento genético via seleção de progênies, em especial para DAP em *P. dubium* e DAP e ALT em *M. urundeuva*.

Os coeficientes \hat{h}_i^2 e \hat{h}_d^2 para altura e DAP variaram de médios (0,15 a 0,30) a altos (> 0,30), para o modelo aleatório (meios-irmãos) e, de baixos (< 0,15) a altos, para o modelo misto, mostrando potencial para o melhoramento genético via seleção massal.

O modelo aleatório não se ajustou aos dados de DAP em *P. dubium*, apresentando valores maiores do que 1,0, sendo desta forma, inadequado para a estimativa da variância genética aditiva e coeficientes de herdabilidade. Estimativas de herdabilidades superiores a 1,0 em espécies arbóreas tropicais também foram observadas por Siqueira *et al.* (1986) e Sebbenn *et al.* (1999) para *P. dubium* e por Etori *et al.* (1995) para *Tabebuia vellosi*. O modelo aleatório estaria superestimando a quantidade de variância genética aditiva existente entre progênies ($\sigma_A^2 = 4\sigma_p^2$). Em progênies de meios-irmãos a covariância dentro de progênies estima 1/4 da variância genética aditiva (σ_A^2). As possíveis causas para isso são desvios de cruzamentos aleatórios e endogamia na geração parental (Namkoong, 1966; Squillace, 1974; Surles *et al.*, 1990). A utilização do modelo misto ajustou as estimativas da $\hat{\sigma}_A^2$ e dos coeficientes de herdabilidade. Para o DAP, em *P. dubium*, os coeficientes \hat{h}_i^2 e \hat{h}_d^2 foram corrigidos para valores menores do que 1,0 (TABELA 2), indicando que o modelo misto é mais adequado para descrever o comportamento genético da espécie, comparativamente ao modelo aleatório. Entretanto, os coeficientes \hat{h}_i^2 e \hat{h}_d^2 medem, praticamente, o mesmo efeito, a herança dos caracteres em nível de plantas individuais e média individual dentro de progênies, sendo portanto, esperado que apresentem valores similares entre si. Em concordância, na grande maioria das estimativas de \hat{h}_i^2 e \hat{h}_d^2 reportadas na literatura para essências

florestais apresentam valores similares. Todavia, isto não aconteceu na maior parte das estimativas aqui obtidas, indicando inconsistência nos resultados e que ambos os modelos foram inadequados para descrever a herança dos caracteres nas espécies. Simplesmente redistribuir a variância genética aditiva entre e dentro de progênies não resolve o problema das estimativas de herdabilidade. Na presença de sistema misto de reprodução, outros componentes genéticos são incorporados e redistribuídos entre e dentro de progênies, como a variância de dominância (σ_D^2), covariância entre efeitos aditivos e de dominância dos homozigotos (D_1), variância genética dos efeitos de dominância dos homozigotos (D_2) e, o quadrado da depressão por endogamia (H). Mas, para estimar estes componentes é necessário avaliar simultaneamente progênies de autofecundação, irmãos-completos e meios-irmãos ou, quando as sementes forem originadas de polinização livre, conhecer com precisão a relação de parentesco entre todas as plantas ensaiadas. Também é necessário estimar a taxa de cruzamento, autofecundação, correlação de paternidade, correlação de autofecundação do evento reprodutivo que deu origem às sementes e o índice de fixação da geração parental. De posse destas informações é possível estimar todos os componentes da variância genética, responsáveis pela herança dos caracteres. Assim, a inadequação dos dados ao modelo misto pode ser atribuída ao fato de que os parâmetros do sistema de reprodução foram inferidos da literatura e, os componentes σ_D^2 , D_1 , D_2 e H , foram assumidos como nulos.

Na TABELA 4 são apresentadas as probabilidades de amostrar um alelo de frequência 0,05, em um loco, e o tamanho efetivo populacional, assumindo que as progênies de cada espécie apresentam diferentes misturas de parentescos, ou seja, irmãos de autofecundação (IS), irmãos-completos (IC) e meios-irmãos (MI). Para o caso de *M. urundeuva*, também foi considerada a possibilidade de ocorrer autofecundações (5%), porque apesar da espécie ser citada como dióica, existem relatos da presença de flores monóicas (Carvalho, 1994) e, Moraes (1993) e Lacerda (1997) encontraram estimativas da taxa de cruzamento menor do que 1,0.

SEBBENN, A. M.; ETTORI, L. de C. Conservação genética *ex situ* de *Esenbeckia leiocarpa*, *Myracrodruon urundeuva* e *Peltophorum dubium* em teste de progênies misto.

TABELA 4 - Número de progênies (m), número médio de plantas por progênies (\bar{k}), probabilidade de amostrar um alelo de frequência 0,05, em um loco ($P[MS]$), tamanho efetivo em progênies de meios-irmãos ($\hat{N}_{e(MI)}$) e progênies de sistema misto ($\hat{N}_{e(MS)}$), antes e após a seleção.

Espécie	m	\bar{k}	Antes da Seleção			Após a Seleção		
			$P[MS]$	$\hat{N}_{e(MI)}$	$\hat{N}_{e(MS)}$	$P[MS]$	$\hat{N}_{e(MI)}$	$\hat{N}_{e(MS)}$
<i>P. dubium</i> ^a	26	24,7	0,989	92,7	65,7	0,987	69,3	54,5
<i>M. urundeuva</i> ^b	24	29,2	0,993	87,0	42,7	0,992	60,0	36,9
<i>E. leiocarpa</i> ^c	26	18,5	0,987	87,3	70,0	0,986	69,3	57,6

(a) [15% IS; 42,5% IC; 42,5% MI].

(b) [42% IS; 38% IC; 20% MI].

(c) [5% IS; 55% IC; 40% MI].

IS = irmãos de autofecundação; IC = irmãos-completos; MI = meios-irmãos.

Foi selecionada uma planta por parcela em cada espécie.

A probabilidade esperada da amostra realizada reter um alelo de frequência 0,05 (alelo raro) em um loco foi alta para as três espécies (> 98%). Da mesma forma, o tamanho efetivo populacional estimado considerando as espécies como de sistema misto foi para *E. leiocarpa* e *P. dubium* superior ao mínimo sugerido (50) por Frankel & Soulé (1981) para conservação de uma espécie a curto prazo (10 gerações). *M. urundeuva* apresentou \hat{N}_e inferior a 50, indicando a necessidade de reamostragem para efetiva conservação genética *ex situ*.

O tamanho efetivo variou nas três espécies entre o modelo aleatório e o modelo misto antes e após a seleção. Considerando as progênies como meios-irmãos o tamanho efetivo foi sempre maior relativamente ao modelo de reprodução mista. Antes da seleção, o tamanho efetivo reduziu 29,3% para *P. dubium*, 50,9% para *M. urundeuva* e 19,8% para *E. leiocarpa*. Após a seleção, a redução foi 21,4%, 46,7% e 16,9% para *P. dubium*, *M. urundeuva* e *E. leiocarpa*, respectivamente. Como em progênies de meios-irmãos cada filho recebe pólen de um pai diferente, uma progênie de tamanho infinito (> 1.000 plantas) pode representar até quatro parentais ($4m$, sendo m o número de progênies ou matrizes das progênies) (Crow & Kimura, 1970). Em progênies de reprodução mista, como ocorre a mistura de progênies de meios-irmãos, irmãos-completos e irmãos de autofecundação, o tamanho efetivo será sempre menor e o limite de representatividade genética de uma progênie estará entre o limite de

meios-irmãos ($4m$) e irmãos de autofecundação ($1m$), sendo a tendência para um ou outro limite dada pela maior proporção dos diferentes tipos de progênies. Por exemplo, como *M. urundeuva* apresentava a maior proporção de progênies de autofecundação (TABELA 1), a redução observada no tamanho efetivo foi maior (mínimo 46,7%), comparativamente às outras espécies.

De acordo com as probabilidades de amostragem e com o tamanho efetivo populacional, pode-se afirmar que a estratégia amostral adotada foi eficiente para a conservação de alelos raros nas espécies e que *E. leiocarpa* e *P. dubium* apresentam potencial evolutivo para sua conservação genética *ex situ*. Entretanto, a transformação do ensaio em um pomar de sementes por mudas pode tornar a conservação *ex situ* mais eficiente e segura, por recombinar e dispersar o material ensaiado em várias áreas de reflorestamento. Assim, visando à futura transformação do ensaio em um pomar de sementes por mudas, simulou-se a seleção de uma planta por parcela, visando à redução da probabilidade de cruzamentos entre irmãos e o aparecimento de endogamia. O manejo do banco, com a seleção de cinco a seis plantas por progênie (uma planta por bloco), praticamente não alterou a probabilidade de retenção de alelos de frequência 0,05 ($P > 0,98$), mas alterou o tamanho efetivo das espécies (TABELA 4). O tamanho efetivo de *E. leiocarpa* e de *P. dubium* manteve-se acima do mínimo requerido (50), porém o de *M. urundeuva* ficou muito abaixo deste (36,9). Mesmo assim, é mais interessante realizar o manejo e obter sementes não endogâmicas do que não manejar e obter sementes com alto grau de endogamia.

4 CONCLUSÕES

Os maiores crescimento e incrementos médios anuais (IMA) foram observados para *P. dubium*, seguido de *M. urundeuva* e *E. leiocarpa*.

A análise da variância detectou variabilidade genética entre progênes significativas pelo teste F e o coeficiente de variação genética entre progênes foi alto para os caracteres altura e DAP, nas três espécies, revelando potencial para a conservação genética *ex situ* das populações.

Os coeficientes de herdabilidade foram altos para as os caracteres altura e DAP, nas três espécies, indicando forte controle genético e existe a possibilidade de melhoramento genético das espécies via seleção.

A amostragem realizada para conservação foi suficiente para reter pelo menos um alelo raro em cada espécie.

O tamanho efetivo mantido no ensaio é suficiente para a conservação de *E. leiocarpa* e *P. dubium* no curto prazo, mas insuficiente para *M. urundeuva*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLARD, R. W. **Princípios do melhoramento genético das plantas**. São Paulo: Edgard Blucher, 1971. 381 p.
- BROWN, A. H. D.; HARDNER, C. M. Sampling the gene pools of forest trees for *ex situ* conservation. In: YOUNG, A.; BOSHIER, D.; BOYLE, T. (Ed.). **Forest conservation genetics: principles and practice**. Australia: CSIRO Publishing, 2000. 352 p.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso de madeira**. Colombo: EMBRAPA-CNPq; Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1994. 640 p.
- CROW, J. F. KIMURA, M. A. **An introduction to population genetics theory**. London: Harper Row, 1970. 591 p.
- DUREL, C. E.; BERTIN, P.; KREMER, A. Relationship between inbreeding depression and inbreeding coefficient in Maritime Pine (*Pinus pinaster*). **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 92, p. 341-350, 1990.
- ETTORI, L. de C. *et al.* Conservação *ex situ* dos recursos genéticos de ipê-amarelo (*Tabebuia vellosi* Tol.) através de teste de procedências e progênes. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 7, n. 2, p. 157-168, 1995.
- FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. Harlow: Longman, 1997. 463 p.
- FRANKEL, O. H.; SOULÉ, M. S. **Conservation and evolution**. Cambridge: Cambridge University Press, 1981. 327 p.
- KOELEWIJN, H. P.; KOSKI, V.; SAVOLAINEN, O. Magnitude and timing of inbreeding depression in Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). **Evolution**, San Francisco, v. 53, n. 3, p. 758-768, 1999.
- LACERDA, C. M. B. **Diversidade genética por isoenzimas em populações naturais de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Freire, F. & M.F. Allemão), Anacardiaceae no semi-árido**. 1997. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- LIBBY, W. J.; McCUTCHAN, B. G.; MILLAR, C. I. Inbreeding depression in self of Redwood. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 30, p. 15-25, 1981.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 1992. 302 p.
- MORAES, M. L. T. *et al.* Variação genética em duas populações de aroeira (*Astronium urundeuva* - (Fr. All.) Engl. - Anacardiaceae). In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2., São Paulo, 1992. **Anais...** São Paulo: UNIPRESS, 1992. p. 1241-1245. (*Rev. Inst. Flor.*, São Paulo, v. 4, n. único, pt. 4, Edição especial).
- MORAES, M. L. T. **Variabilidade genética por isoenzimas e caracteres quantitativos em duas populações naturais de aroeira *Myracrodruon urundeuva* F.F. & M.F. Allemão Anacardiaceae (Syn: *Astronium urundeuva* (Fr. Allemão) Engler)**. 1993. 139 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SEBBENN, A. M.; ETTORI, L. de C. Conservação genética *ex situ* de *Esenbeckia leiocarpa*, *Myracrodruon urundeuva* e *Peltophorum dubium* em teste de progênies misto.

MORI, E. S. **Estrutura genética de populações naturais de canafistula *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.** 2000. 145 f. Tese (Livro Docência em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

MURAWSKI, D. A.; HAMRICK, J. L. The effect of the density of flowering individuals on the mating systems of nine tropical tree species. **Heredity**, Lund, v. 67, p. 167-174, 1991.

NAMKOONG, G. Inbreed effects on estimation of genetic additive variance. **Forest Science**, Washington, v. 12, p. 8-13, 1966.

OLIVEIRA, S. A. *et al.* Variação genética em progênies de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All.) sob diferentes condições de cultivo. I - Aspectos silviculturais. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 12, n. 2, p. 155-166, 2000.

RITLAND, K. Correlated matings in the partial selfer *Mimulus guttatus*. **Evolution**, San Francisco, v. 43, n. 4, p. 848-859, 1989.

_____. Inferring the genetic basis of inbreeding depression in plants. **Genome**, Ottawa, v. 39, p. 1-8, 1996.

SEBBENN, A. M. *et al.* Interação genótipo ambiente na conservação *ex situ* de *Peltophorum dubium*, em duas regiões do Estado de São Paulo. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 11, n. 1, p. 75-89, 1999.

SEBBENN, A. M. *et al.* Depressão por endogamia em populações de jequitibá-rosa. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 61-81, 2001.

SEOANE, C. E. C.; KAGEYAMA, P. Y.; SEBBENN, A. M. Efeitos da fragmentação florestal sobre a estrutura genética de populações de *Esenbeckia leiocarpa*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 57, p. 123-139, 2000.

_____.; SEBBENN, A. M.; KAGEYAMA, P. Y. Sistema de cruzamento em populações de *Esenbeckia leiocarpa* Engl. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 19-26, 2001.

SIQUEIRA, A. C. M. De F. *et al.* Conservação dos recursos genéticos da guarucaia - *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. **Bol. Técn. IF**, São Paulo, v. 40A, p. 302-313, 1986. pt. 2. (Edição especial).

SORENSEN, F. C.; MILES, R. Self-pollinization effects on Douglas-Fir and Ponderosa pine seeds and seedlings. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 23, n. 5, p. 135-138, 1974.

SQUILLACE, A. E. Average genetic correlation among offspring from open-pollinated forest trees. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 23, p. 149-156, 1974.

STELL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Principles and procedures of statistics a biometrical approach**. New York: McGraw-Hill Book, 1980. 481 p.

SURLES, S. E. *et al.* Genetic relatedness in open-pollinated families of two leguminous tree species, *Robinia pseudoacacia* L. and *Gleditsia triacanthos* L. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 80, p. 49-56, 1990.

VENCOVSKY, R. Genética quantitativa. In: KERR, W. E. **Melhoramento e genética**. São Paulo: Edições Melhoramento, 1969. p. 17-38.

_____. Effective size of monoecious populations submitted to artificial selection. **Brazil Journal of Genetics**, Ribeirão Preto, v. 1, n. 3, p. 181-191, 1978.

VENTURA, A.; BERENGUT, G.; VICTOR, M. A. M. Características edafoclimáticas das dependências do Serviço Florestal do Estado de São Paulo. **Silvic. S. Paulo**, São Paulo, v. 4, p. 57-139, 1965/1966.

VITTI, A. P. *et al.* Estrutura genética em populações de *Cecropia cinerea* e *Esenbeckia leiocarpa* plantadas segundo a sucessão secundária. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2., São Paulo, 1992. **Anais...** São Paulo: UNIPRESS, 1992. p. 1209-1212. (Rev. Inst. Flor., São Paulo, v. 4, único, pt. 4, Edição especial).