



Variabilidade genética e ganhos de seleção em progênies de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All.

Silvelise PUPIN^{1*}, Miguel Luiz Menezes de FREITAS², Daniela Sílvia de Oliveira CANUTO¹, Alexandre Marques da SILVA¹, Ana Lília Alzate MARIN³, Mario Luiz Teixeira de MORAES¹

¹ Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio-Economia, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil.

² Instituto Florestal do Estado de São Paulo, Secretaria Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo, Brasil.

³ Departamento de Genética, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil.

* E-mail: silvelise.pupin@gmail.com

Recebido em junho/2016; Aceito em setembro/2016.

RESUMO: A exploração inadequada de madeiras nativas têm provocado à redução de populações naturais, como foi o caso da *Myracrodruon urundeuva*. Os objetivos deste trabalho foram estimar parâmetros genéticos para caracteres silviculturais, em um teste de progênies de *M. urundeuva*, em sistema de plantio multi-espécie e avaliar o potencial para conservação *ex situ* e transformação em um pomar de sementes por mudas. O experimento foi instalado em Selvíria, MS, no delineamento de blocos casualizados, com 30 progênies, 14 repetições e uma planta por parcela. Os caracteres foram avaliados aos quatro e nove anos de idade e as estimativas dos parâmetros genéticos foram obtidas pelo procedimento REML/BLUP. A seleção para o diâmetro a altura do peito foi baseada na seleção combinada do índice multi-efeitos e nos valores genéticos aditivos individuais. Foram obtidas estimativas adequadas de variação genética (> 12%), herdabilidade da média de progênies ($\hat{h}_m^2 > 0,35$) e acurácia ($r_{aa} > 58\%$). A estratégia sem restrição dos 180 melhores indivíduos proporcionou o maior ganho de seleção (7,48%). A diversidade genética (67%) e tamanho efetivo (≈ 60) foram semelhantes a estratégia com restrição de indivíduos e progênies. Em função disso, a estratégia sem restrição pareceu ser mais adequada. Assim, existe variabilidade genética no teste de progênies de *M. urundeuva* e potencial para sua transformação em um pomar de sementes por mudas.

Palavras-chave: aroeira, parâmetros genéticos, REML/BLUP, teste de progênies.

Genetic variability and genetic gains in progenies of *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. in multi-species system

ABSTRACT: Improper exploitation of native woods have led to a reduction in natural populations, as was the case of *Myracrodruon urundeuva*. The objectives of this study were to estimate genetic parameters for silvicultural traits in progenies test of *M. urundeuva*, in multi-species system and evaluate the potential for *ex situ* conservation and transformation into an orchard seedling seed. The experiment was installed in Selvíria-MS in a randomized block design, with 30 progenies, 14 replications and one plant per plot. The traits were evaluated at four and nine years old and estimates of genetic parameters were obtained by REML/BLUP procedure. The selection for diameter at breast height was based on the combined selection of multi-effect index and genetic values individual additives. Appropriate estimates of genetic variation were obtained (>12%), average heritability progenies (>0.35) and accuracy (>58%). The strategy without restriction of the 180 best individuals provided the highest gain selection (7.48%). Genetic diversity (67%) and effective size (≈ 60) were similar strategy with restriction of individuals and progenies. As a result, the strategy without restriction seemed to be more appropriate. Thus, there is genetic variability in the test *M. urundeuva* progenies and potential for its transformation into an orchard seedling seed.

Keywords: aroeira, genetic parameters, REML/BLUP, progenies test.

1. INTRODUÇÃO

A *Myracrodruon urundeuva* (Anacardiaceae) é uma espécie arbórea tropical, popularmente conhecida como aroeira-preta e caracterizada pela alta densidade básica (1,19 g.cm⁻³), imputrescibilidade e durabilidade de sua madeira (LORENZI,

2000), sendo considerada como a representante de maior resistência natural da flora brasileira (ANDREACCI; MELO JUNIOR, 2011). Dentre as aplicações, destacam-se usos na construção civil, confecção de postes, cruzetas, moirões, dormentes e móveis de luxo (ALMEIDA et al., 1998). Pode ser empregada na apicultura, na alimentação animal, em curtumes,

na arborização urbana e em reflorestamentos ambientais. Apresenta também, potencial farmacológico como anti-inflamatório e cicatrizante, ainda pouco estudado (CARVALHO, 1994; VIEIRA et al., 2015).

Por suas qualidades, a *M. urundeuva* foi alvo de intensa exploração antrópica, alcançando importância significativa (MONTEIRO et al., 2012). Em função disso, tornou-se integrante da lista vermelha de espécies ameaçadas e classificada na categoria vulnerável (BRASIL, 2014). Apesar de amplamente distribuída, ocorre em pouca proporção na região Centro-sul do Brasil, especialmente em São Paulo, onde pode ser encontrada em reservas estaduais e particulares, na forma de manchas, apresentando comportamento de pioneira antrópica ou monodominante nos fragmentos florestais (MORAES et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2014).

Para delinear estratégias efetivas de conservação e fundar alicerces para subsidiar programas de melhoramento genético, é fundamental obter informações quanto a base genética. Além disso, nos próximos anos, deve haver um incremento na demanda por sementes florestais com qualidade genética, devido às obrigações com a restauração ecológica e cumprimento da legislação ambiental. Para suprir essa demanda a baixo custo, os pesquisadores defendem a implantação de pomares de sementes por mudas (PSM), que poderão ser estabelecidos a partir de testes de progênies (HIGA; SILVA, 2006), permitindo a avaliação de parâmetros genéticos, como variação genética, herdabilidades e acurácia.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi estimar parâmetros genéticos para caracteres silviculturais, em um teste de progênies de *M. urundeuva*, para avaliar a base genética e propor a transformação em um pomar de sementes por mudas e para conservação *ex situ*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletadas sementes em 30 árvores matrizes de polinização aberta, em uma população natural de *M. urundeuva*, caracterizada por apresentar indivíduos que ocorriam de forma agregada, em terrenos e pequenos fragmentos florestais, dentro e ao redor do município de Ribeirão Preto, São Paulo.

A produção das mudas para instalação do teste de progênies ocorreu no viveiro da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE), da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira/FEIS-UNESP, localizada em Selvíria, Mato Grosso do Sul. O plantio ocorreu em junho de 2006, na área com coordenadas 20°21'33" de latitude Sul e 51°24'46" de longitude Oeste e altitude de 360 metros ao nível do mar. O clima da região foi classificado como Aw pela classificação de Köppen; temperatura média anual de 25,1°C e precipitação média anual de 1305 mm (SANTOS; HERNANDEZ, 2013). O relevo é moderadamente plano e ondulado. A vegetação original era típica do cerrado e o solo foi previamente classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico (EMBRAPA, 2013).

O experimento foi disposto em delineamento de blocos casualizados, com 30 tratamentos (progênies), 14 repetições (blocos) e uma planta por parcela. As progênies de *M. urundeuva* foram casualizadas em consórcio com as espécies nativas: *Cordia trichotoma* (louro-pardo), *Jacaranda cuspidifolia* (jacarandá caroba) e *Mabea fistulifera* (canudo-de-pito), formando um sistema multi-espécie, sendo que, cada bloco foi constituído por 30 parcelas lineares, cada uma com quatro

plantas, no espaçamento 3,0 m x 2,0 m. No entanto, somente a *M. urundeuva* foi considerada para o estudo.

Aos quatro e nove anos de idade foram mensurados os caracteres silviculturais: altura total de plantas (ALT, m) e diâmetro a altura do peito (DAP, cm). Para contrapor as médias de crescimento da *M. urundeuva* com outras espécies florestais nativas, foi calculado o incremento médio anual (IMA), que consiste na razão da média de crescimento (ALT ou DAP) pela idade de avaliação. Para verificar a adaptação dos indivíduos em Selvíria, obteve-se a sobrevivência das plantas (SOB, %), atribuindo-se "1" para presença da árvore e "0" para a ausência da árvore.

Os parâmetros genéticos foram obtidos pelo procedimento REML/BLUP (máxima verossimilhança restrita/melhor predição linear não viciada), empregando-se o *software* de livre acesso SELEGEN, desenvolvido por Resende (2007a). As variáveis quantitativas foram analisadas pela metodologia do modelo linear misto (aditivo univariado), considerando o teste de progênies de meios-irmãos, delineamento em blocos ao acaso, uma planta por parcela, um só local e uma única população (modelo 95 – Equação 1), seguindo o procedimento proposto por Resende (2002 e 2007b):

$$y = Xr + Za + e \quad (1)$$

em que:

- y - vetor de dados;
- r - vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados à média geral;
- a - vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (assumidos como aleatórios); e,
- e - vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

Os parâmetros genéticos foram obtidos para ALT e DAP: variância genética aditiva (σ_a^2); variância residual (σ_e^2); variância fenotípica individual (σ_f^2); herdabilidade individual no sentido restrito (\hat{h}_a^2); herdabilidade da média de progênies (\hat{h}_a^2); herdabilidade aditiva dentro de progênie (\hat{h}_{ad}^2); acurácia de seleção (r_{aa}); coeficiente de variação genética aditiva individual (CV_{gi}); coeficiente de variação residual (CV_e); coeficiente de variação relativa (CV_r) e teste da razão de verossimilhança (LRT).

A partir dos parâmetros genéticos, estabeleceram-se três estratégias de seleção com base no DAP e na seleção combinada por meio do índice multi-efeitos (IME) obtendo os valores genéticos aditivos individuais. Foram selecionados 180 indivíduos dos 341 estabelecidos no teste de progênies aos nove anos de idade, mantendo-se a mesma intensidade de seleção (52,8%), para fins de comparação entre as estratégias: I) seleção sem restrição, considerando a classificação pelos BLUP's (melhor predição linear não viciada); II) seleção com restrição, considerando apenas o número de indivíduos (6); III) seleção com restrição no número de indivíduos (9) e no número de progênies (20). A seleção das melhores famílias foi obtida pelo *ranking*, baseado no item "Seleção de Genitores" do Selegen, buscando manter a mesma intensidade de seleção.

A estimativa do tamanho efetivo populacional (N_e) foi calculada de acordo com a Equação 2 com base em Resende (2002):

$$N_e = \frac{4 \times N_f \times \bar{k}_f}{\bar{k}_f + 3 + \left(\frac{\sigma_{k_f}^2}{\bar{k}_f} \right)} \quad (2)$$

em que:

- N_f - número de progênies selecionadas;
- \bar{k}_f - número médio de indivíduos selecionados por progênie; e,
- $\sigma_{k_f}^2$ - é variância do número de indivíduos selecionados por progênie.

A estimativa de diversidade genética (D) foi quantificada conforme a Equação 3 citado em Resende (2002):

$$\hat{D} = \frac{N_{ef}}{N_{fo}} \quad (3)$$

em que:

- N_{ef} - número efetivo de famílias selecionadas; e,
- N_{fo} - número original de famílias do teste.

3. RESULTADOS

As médias para os caracteres silviculturais de *Myracrodruon urundeuva*, altura de plantas (ALT) e diâmetro a altura do peito (DAP), apresentaram crescimento adequado no período (Tabela 1). Para sobrevivência das árvores (SOB) a média foi elevada (> 83%), indicando boa adaptação das progênies ao local de estudo.

Considerando o incremento médio anual (IMA) para as idades avaliadas, houve uma redução para ambos os caracteres, sendo mais intensa para ALT (49 cm) do que para DAP (0,24 cm) (Tabela 2), mostrando que, aparentemente, a *M. urundeuva* desprende mais energia para o crescimento em ALT nos primeiros anos, provavelmente para atingir o dossel, mantendo, ainda que lento, o crescimento em diâmetro. Freitas et al. (2007) confirmaram para *M. urundeuva* que o IMA decresceu com o avanço da idade e que nos primeiros anos o crescimento foi rápido e acentuado.

A variância genética aditiva (σ_a^2) foi superior para o DAP aos 9 anos (Tabela 2). A variância residual (σ_e^2) e fenotípica (σ_f^2) aumentaram consideravelmente no período, sendo maior também para o DAP. Sendo assim, o coeficiente de variação experimental (CV_e) verificado foi elevado (> 32%) e sempre superior ao coeficiente de variação genética aditiva individual (CV_{gi}).

Tabela 1. Médias para altura de plantas (ALT, em m), diâmetro a altura do peito (DAP, em cm) e sobrevivência (SOB, em %), mensurados aos quatro e nove anos de idade, em um teste de progênies de *Myracrodruon urundeuva* em sistema multi-espécie, localizado em Selvíria-MS.

Table 1. Average for plant height (ALT, in m), diameter at the breast height (DAP, in cm) and survival (SOB, in %), measured at four and nine years of age, in a progênies test of *Myracrodruon urundeuva* in multi-species system, located in Selvíria-MS.

4 anos			9 anos		
ALT	DAP	SOB	ALT	DAP	SOB
4,99	4,09	92,38	6,83	7,04	83,33
[1,25]	[1,02]	-	[0,76]	[0,78]	-

[IMA]: incremento médio anual; [ALT]: m/ano; [DAP]: cm/ano.

Tabela 2. Parâmetros genéticos para altura de plantas (ALT) e diâmetro a altura do peito (DAP) aos quatro e nove anos de idade, em um teste de progênies de *Myracrodruon urundeuva*, localizado em Selvíria, MS.

Table 2. Genetic parameters for plant height (ALT) and diameter at breast height (DAP) at four and nine years of age, in a progênies test of *Myracrodruon urundeuva*, located in Selvíria-MS.

	4 anos		9 anos	
	ALT (m)	DAP (cm)	ALT (m)	DAP (cm)
σ_a^2	1,021	0,897	0,751	1,683
σ_e^2	2,340	2,503	4,399	6,627
σ_f^2	3,3611	3,400	5,151	8,310
\hat{h}_a^2	0,30±0,16	0,26±0,16	0,15±0,12	0,20±0,14
\hat{h}_m^2	0,54	0,50	0,35	0,43
\hat{h}_{ad}^2	0,25	0,21	0,11	0,16
r_{aa} (%)	73,2	70,5	58,9	65,4
CV_{gi} (%)	20,24	23,14	12,69	18,41
CV_e (%)	35,30	43,55	32,61	39,87
CV_r	0,29	0,27	0,19	0,23
LRT	7,05**	5,41**	1,86 ^{ns}	3,38*

^{ns} não significativo; * significativo a 10% com 1 grau de liberdade (2,71); ** significativo a 5% com 1 grau de liberdade (3,84); σ_a^2 - variância genética aditiva; σ_e^2 - variância residual (ambiental + não aditiva); σ_f^2 - variância fenotípica individual; \hat{h}_a^2 - herdabilidade individual no sentido restrito; \hat{h}_m^2 - herdabilidade da média de progênies; \hat{h}_{ad}^2 - herdabilidade aditiva dentro de progênie; r_{aa} - acurácia; CV_{gi} - variação genética aditiva individual; CV_e - coeficiente de variação experimental; CV_r - coeficiente de variação relativa; LRT teste da razão de verossimilhança.

O teste da razão de verossimilhança (LRT) apontou valores significativos para ALT (4 anos) e DAP (ambas as idades), indicando que existem diferenças genéticas entre as progênies. Para Sebbenn et al. (1998), um coeficiente de variação genética acima de 7% pode ser considerado alto. Assim, os valores foram adequados ($CV_{gi} > 12\%$) tanto para ALT como DAP (Tabela 2).

Apesar disso, a redução verificada para ALT (7,55%) elevou as diferenças entre $CV_{gi} \ll CV_e$, o que pode ter influenciado a não detecção de variação genética pelo LRT para esse caractere. No entanto, o intervalo do coeficiente de herdabilidade individual no sentido restrito (\hat{h}_a^2), que não incluiu o zero e foi significativo, afirmou que, mesmo de baixa magnitude, existe variação genética para ALT.

Para \hat{h}_a^2 os intervalos foram classificados como medianos (entre 0,15 e 0,50). De modo geral, as estimativas para herdabilidade da média de progênies (\hat{h}_m^2) foram medianas (entre 0,25 e 0,50) e demonstraram razoável controle genético para os caracteres, sendo mais adequada para ALT (4 anos) e DAP (9 anos). Já para a herdabilidade aditiva dentro de progênies (\hat{h}_{ad}^2) os valores foram de baixa magnitude (< 0,25) (Tabela 2).

De acordo com Resende e Duarte (2007), as estimativas para acurácia (r_{aa}) foram consideradas como alta para a ALT (4 anos) e DAP (9 anos). Nas demais idades, foram classificadas como medianas ($50\% \leq r_{aa} < 70\%$), sugerindo que a obtenção de parâmetros genéticos não deve ser tão confiável.

Para o coeficiente de variação relativa (CV_r), os valores foram considerados como intermediário para ALT (4 anos) e DAP (9 anos) (intervalo 0,25 a 0,5). Os demais foram baixos (< 0,23).

As estratégias de seleção foram delineadas para o caractere DAP, aos nove anos de idade. Os ganhos de seleção (G_s) foram razoáveis (Tabela 3). O maior ganho foi obtido na seleção dos melhores indivíduos (Estratégia I - 7,48%). Nessa estratégia, as progênies 6 e 12 não contribuíram com nenhuma árvore entre

Tabela 3. Estratégias para seleção de 180 indivíduos pelos valores genéticos aditivos (Blup individual), em um teste de progênies de *Myracrodruon urundeuva* em sistema multi-espécie, baseadas no caractere DAP avaliado aos nove anos de idade: I) seleção sem restrição; II) seleção com restrição de seis indivíduos por progênie; III) seleção com restrição dos nove melhores indivíduos nas 20 melhores progênies.

Table 3. Strategies for selection of 180 individuals by additive genetic values (individual Blup) in a progênies test of *Myracrodruon urundeuva* in a multi-species system, based on the DAP trait evaluated at nine years of age: I) selection without restriction; II) selection with restriction of six individuals per progeny; III) selection with restriction of the nine best individuals in the 20 best progenies.

I (k _f = variável)				II (k _f = 6)				III (k _f = 6)			
Prog	k _f	Prog	k _f	Prog	k _f	Prog	k _f	Prog	k _f	Prog	k _f
1	3	16	5	1	6	16	6	2	9	18	9
2	14	17	10	2	6	17	6	7	9	30	9
3	4	18	5	3	6	18	6	27	9	3	9
4	8	19	8	4	6	19	6	23	9	8	9
5	3	20	1	5	6	20	6	15	9	26	9
6	0	21	11	6	6	21	6	4	9		
7	11	22	10	7	6	22	6	22	9		
8	1	23	12	8	6	23	6	11	9		
9	9	24	2	9	6	24	6	13	9		
10	7	25	2	10	6	25	6	21	9		
11	8	26	3	11	6	26	6	28	9		
12	0	27	12	12	6	27	6	10	9		
13	8	28	8	13	6	28	6	17	9		
14	6	29	1	14	6	29	6	14	9		
15	12	30	5	15	6	30	6	19	9		
N _f	28			N _f	30			N _f	20		
k _f	6,43			k _f	6,00			k _f	9,00		
σ _{k_f} ²	16,62			σ _{k_f} ²	0,00			σ _{k_f} ²	0,00		
N _e	59,93			N _e	80,00			N _e	60,00		
X (cm)	7,04			X (cm)	7,04			X (cm)	7,04		
â (cm)	0,53			â (cm)	0,30			â (cm)	0,42		
G _s (%)	7,48			G _s (%)	4,25			G _s (%)	5,97		
D	0,67			D	1,00			D	0,67		

N_f - n° de progênies selecionadas; k_f - n° médio de indivíduos selecionados por progênie; σ_{k_f}² - variância do n° de indivíduos selecionados por progênie; N_e - tamanho efetivo populacional; X - média geral para DAP; â - efeito genético aditivo individual = IME: Índice Multi-efeitos; G_s - Ganho na seleção (%).

os 180 melhores indivíduos, indicando que trata-se de famílias ruins e que podem ser descartadas.

Confirmando isso, a seleção com restrição de famílias e indivíduos (III) não incluiu essas duas progênies. O G_s foi intermediário (5,97%), mas tanto a diversidade genética (D) quanto o tamanho efetivo populacional (N_e) foram semelhantes a estratégia I.

O maior tamanho efetivo foi obtido pela estratégia com restrição no número de indivíduos dentro de progênies (II) (Tabela 3). Essa estratégia, além de manter 100% da diversidade genética, contribuiu para manter a maior representatividade genética, sendo que espera-se, que das 180 árvores selecionadas, 80 (44,4%) sejam indivíduos não parentes e não endogâmicos. Entretanto, obteve-se o menor ganho de seleção (4,25%) com essa estratégia. Isso ocorreu por que foram selecionados indivíduos ruins, com valores genéticos aditivos que contribuíram para reduzir os ganhos.

Apesar da diversidade genética ser de fundamental importância, a estratégia I indicou que duas progênies são inferiores e podem ser descartadas. Como essa seleção conseguiu reunir a mesma diversidade genética e tamanho efetivo que a estratégia III, e em função disso, ela pareceu ser a mais adequada para prosseguir o desbaste seletivo, devido a diferenças entre os ganhos de seleção (1,51%).

4. DISCUSSÃO

As médias de crescimento de *M. urundeuva* sobressaíram-se a outros experimentos com a mesma espécie, localizados em

Selvíria, aos 10, 14 e 15 anos de idade, em sistemas de plantio consorciado (Tabela 4). Em contrapartida, as progênies aos nove anos, apresentaram desempenho inferior quando os resultados foram confrontados com sistemas de plantio homogêneo (ASO) e agroflorestal (mamona, milho e guandu – MMG-PF) aos 10 anos.

Comparando o IMA da *M. urundeuva* com outras espécies florestais nativas, o crescimento foi superior a: *Myroxylon peruiferum* (cabreúva) para ALT e DAP; *Enterolobium contortisiliquum* (tamboril) e *Gallesia integrifolia* (pau d'alho) para ALT. Entretanto, a *Cariniana legalis* (jequitibá rosa) e o *Schizolobium amazonicum* (paricá) apresentaram crescimento maior para ALT e DAP (Tabela 4). De fato, esses resultados não demonstram a inferioridade ou superioridade da *M. urundeuva* em relação a outras espécies, mas sugerem que o crescimento em arbóreas, que apresentam madeira de alta qualidade, é pequeno e lento.

A mortalidade verificada no período (9,05%) (Tabela 2) pode ter ocorrido devido à seca, que eliminou do teste de progênies (principalmente entre 2013/2015) as plantas menos desenvolvidas (ALT < 1,30 m). Além disso, a competição com gramíneas (*Brachiaria* spp.) e outras espécies florestais que se estabeleceram na área, inclusive as próprias espécies consorciadas, particularmente, a *M. fistulifera* (canudo-de-pito), devem ter contribuído para mortalidade nos primeiros anos (7,62%). Essa é uma espécie pioneira, que para se estabelecer rapidamente no ambiente, busca otimizar a captação da radiação solar por meio da arquitetura de sua copa densa, podendo até mesmo, inibir a presença espécies não pioneiras (CURTO et al.,

Tabela 4. Altura de plantas (ALT, em m), diâmetro a altura do peito (DAP, em cm) e incremento médio anual (IMA, em m/ano ou cm/ano), para *Myracrodruon urundeuva* e espécies florestais nativas.

Table 4. Height of plants (ALT, in m), diameter at breast height (DAP, in cm) and mean annual increment (IMA, in m/year or cm/year) for *Myracrodruon urundeuva* and native forest species.

Espécie	Idade	ALT	IMA	DAP	IMA	Fonte
<i>Cariniana legalis</i>	17	12,3	1,17	13,5	1,32	Sebbenn et al. (2001)
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	19	13,04	0,69	22,07	1,16	Sant'Ana et al. (2013)
<i>Gallesia integrifolia</i>	20	13,63	0,68	21,89	1,09	Freitas et al. (2008)
<i>Myracrodruon urundeuva</i> (AC)	15	6,02	0,40	5,98	0,39	Guerra et al. (2009)
<i>Myracrodruon urundeuva</i> (AGC)	14	9,08	0,65	9,42	0,67	Otsubo et al. (2015)
<i>Myracrodruon urundeuva</i> (AMA)		6,34	0,63	5,36	0,54	
<i>Myracrodruon urundeuva</i> (ASO)		8,44	0,84	8,51	0,85	
<i>Myracrodruon urundeuva</i> (MMG-PF)	10	8,83	0,89	4,82	0,48	Canuto et al. (2016)
<i>Myracrodruon urundeuva</i> (MMG-SE)		5,77	0,58	5,90	0,59	
<i>Myracrodruon urundeuva</i> (EUCA)		5,99	0,60	6,52	0,65	
<i>Myroxylon peruiferum</i>	11	5,53	0,50	8,18	0,74	Sebbenn et al. (1998)
<i>Schizolobium amazonicum</i>	9	24,23	2,69	19,44	2,16	Rocha et al. (2009)

AC: aroeira e candiúva; AGC: aroeira, gonçalo alves e capitão do campo; AMA: angico e mutambo; ASO: plantio homogêneo; MMG-PF: mamona, milho e guandu (população de Paulo de Faria-SP); MMG-SE: mamona, milho e guandu (população de Seridó-RN); EUCA: eucalipto.

2013). Apesar disso, a limitação de luz favoreceu a retidão do fuste das árvores de *M. urundeuva*.

A σ_a^2 é considerada um parâmetro fundamental para determinar a resposta de seleção em estratégias que envolvam reprodução sexuada, e indicou que o DAP aos 9 anos, pode ser eleito para recombinação dos melhores indivíduos (Tabela 2). Já a σ_e^2 é causada por efeitos ambientais (fatores nutricionais e climáticos, principalmente) e por efeitos não aditivos, consistindo em uma fonte de erros capaz de reduzir a precisão experimental.

Assim, o alto valor verificado para CV_e , provavelmente pode ser devido aos efeitos ambientais que incidiram sobre as progênies de *M. urundeuva*, como a competição com plantas daninhas, que ocorreram distribuídas de forma heterogênea nos blocos, assim como regenerantes, que se estabeleceram com maior frequência na periferia, próxima a testes de progênies vizinhos. Além desses, houve competição entre as próprias espécies consorciadas. Considerando estudos realizados em Selvíria, Guerra et al. (2009) encontraram valores entre 14,5% (ALT) a 19,1% (DAP) para consórcio aos 15,5 anos; Moraes et al. (2012) obtiveram para DAP avaliado aos 11 anos, 20,8% em plantio consorciado e 11,1% em plantio homogêneo; Otsubo et al. (2015) e Canuto et al. (2016) também encontraram altos CV_e , sendo eles maiores para o DAP.

Apesar disso, não foram encontradas estimativas acima de 30%, sugerindo que a casualização das espécies dentro de parcelas, pode ter favorecido a *M. urundeuva* em certas disposições e a desfavorecido em outras. Essa situação não foi encontrada nos estudos mencionados, onde as parcelas foram constituídas por várias plantas da mesma espécie. Dessa forma, a intensa competição no sistema multi-espécie pode ter contribuído para obtenção de elevados CV_e .

As diferenças genéticas entre as progênies detectadas pelo teste de LRT e a base genética observada, remetem uma condição fundamental e intimamente relacionada ao potencial evolutivo, sendo particularmente importante para espécies florestais nativas e ameaçadas de extinção, pois isso influencia a capacidade adaptativa perante as mudanças climáticas (KREMER et al. (2012).

No entanto, apesar do CV_{gi} ter sido inferior ao CV_e para todos os caracteres, isso demonstrou que, embora as condições ambientais tenham incidido um efeito expressivo sobre as progênies, elas não foram suficientes para suprimir a expressão

da variabilidade genética devido a ampla base genética. Dessa forma, as progênies conservadas na forma *ex situ* em sistema multi-espécie, preservaram substancial variabilidade genética da população natural e também apresentam potencial para explorar estratégias de seleção.

Para Borém e Miranda (2009), a \hat{h}_a^2 é um parâmetro extremamente útil, por ser parte da proporção aditiva da variância genética que é repassada à geração descendente. Os valores encontrados foram medianos para esse parâmetro e indicou que, embora possam ser obtidos ganhos genéticos, eles não serão de grande magnitude, inviabilizando a adoção do método de seleção individual, a menos que seja adotado uma intensidade alta de seleção, o que poderia comprometer o tamanho efetivo populacional e a afetar negativamente a diversidade genética do teste de progênies.

Como já relatado na literatura, a \hat{h}_m^2 foi superior a (\hat{h}_a^2) e a \hat{h}_{ad}^2 (FREITAS et al., 2006; SEBBENN et al., 2009; SENNA et al., 2012; MORAES et al., 2013; SANT'ANA et al., 2013). Portanto, considerando a mesma intensidade de seleção, as estratégias delineadas com base na média de progênies devem ser mais eficientes que a seleção individual e dentro de progênie.

Estudando testes de progênies de *M. urundeuva* em diferentes consórcios, Moraes et al. (2013) relataram que para implantação de testes de progênies de segunda geração ou para conservação genética, deve-se propor a seleção onde a \hat{h}_m^2 for maior (plantio homogêneo – 0,32 e plantio com eucalipto – 0,62).

Para transformar testes de progênies em pomares de sementes por mudas é fundamental a obtenção de estimativas elevadas de acurácia (r_{aa}), devido a associação com as unidades de seleção e progressos genéticos. Assim, os altos valores verificados para ALT (4 anos) e DAP (9 anos), indicaram precisão no acesso à variação genética verdadeira a partir da variação fenotípica observada.

O coeficiente de variação relativa (CV_r) pode ser um parâmetro utilizado para indicar um caractere à seleção, quando muitas variáveis são avaliadas (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992). Assim, tanto a ALT como o DAP poderiam ser indicados para condução dos processos seletivos, mas em idades diferentes.

Embora o controle genético tenha sido reduzido durante o período para ambos os caracteres, o DAP apresentou uma tendência de redução menor. Como o DAP é um caractere que além de fácil e rápido de ser mensurado, apresenta alta

correlação genética com ALT, optou-se por realizar a análise de seleção com esse caractere aos nove anos. Acrescenta-se ainda, que as estimativas de σ_a^2 e CV_{gi} nessa idade foram superiores e, além disso, estimativas de parâmetros genéticos recentes são mais adequadas para conduzir os processos de seleção, uma vez que, dos quatro para os nove anos, o *ranking* de classificação para o desempenho de indivíduos e família pode ter sido alterado, devido a interação entre os genótipos e ambientes, que incidiram condições diferentes ao longo desses cinco anos, podendo ter favorecido ou desfavorecido a performance dos genótipos.

Assim, diante das estimativas obtidas, esperam-se maiores ganhos genéticos com base na seleção de progênies. Para capitalizar esses ganhos, as estratégias delineadas para seleção de indivíduos superiores, dentro das melhores progênies, podem ser adequadas se esses genitores constituir uma população de polinização aberta para recombinação. Contudo, existe a possibilidade de ocorrer cruzamentos entre árvores irmãs, resultando em endogamia na geração descendente. No entanto, espera-se reduzir essa expectativa, considerando que trata-se de uma espécie dióica e de um experimento instalado com uma planta por parcela, o que mantém os meios-irmãos distribuídos na área. Além disso, é provável que possa ocorrer introgressões devido ao fluxo gênico que pode ser estabelecido entre a *M. urundeuva* e outros testes de progênies vizinhos, constituídos por diferentes procedências Brasil. Como se trata de um teste de progênies cujo objetivo principal é a conservação da diversidade genética, e ao contrário dos pomares de sementes para fins de melhoramento genético, onde a contaminação é potencialmente danosa, essa possibilidade pode ser favorável devido a ampliação da base genética.

Assim, espera-se aliar a conservação *ex situ* com estratégias que permitirão o fornecimento de sementes com qualidade adequada e ampla base genética, viabilizando a fundação de populações com e potencial evolutivo para restauração ecológica, como Shimizu (2007) destacou.

Para propor uma área dirigida à formação de um pomar de sementes por mudas, é necessário realizar um desbaste seletivo no teste de progênies, afim de eliminar indivíduos inferiores, minimizar a endogamia na geração descendente e manter a variabilidade genética (FREITAS et al., 2007).

Para transformação do teste de progênies de *M. urundeuva* em um pomar de sementes por mudas, foi utilizado o índice multi-efeitos (IME), que de acordo com Resende e Higa (1994), permite explorar frações da variância genética aditiva que não são consideradas na seleção entre e dentro de progênies.

Para Resende (2002), um tamanho efetivo maior que 50 é adequado para manutenção da variabilidade genética e para evitar a depressão endogâmica. Portanto, todas as estratégias de seleção que foram delineadas atingiram esse patamar, indicando ser cabível para fins de conservação *ex situ*. Porém, a estratégia I, além da superioridade do ganho de seleção, selecionou 28 progênies, ou seja, manteve os melhores indivíduos de praticamente todas as progênies do teste e por esta razão pareceu ser a mais adequada para ser adotada no futuro.

5. CONCLUSÕES

Existe variação genética no teste de progênies de *Myracrodruon urundeuva* viabilizando-o para conservação genética *ex situ*. O sistema multi-espécie não impede a detecção

da variabilidade genética da população natural. É possível transformar o teste de progênies em um pomar de sementes, para tanto, a estratégia mais adequada é a seleção individual sem restrição no número de indivíduos que cada progênie possa contribuir.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão da bolsa de doutorado à Silvelise Pupin; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade em pesquisa concedida ao docente Mario Luiz Teixeira de Moraes; e aos técnicos da FEPE, que auxiliaram na coleta de dados, implantação e manutenção do teste de progênies.

7. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, S. P.; PROENÇA, C. E. B.; SANO, S. M.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado**: espécies vegetais úteis. 2.ed. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998, 464p.
- ANDREACCI, F.; MELO JUNIOR, J. C. F. Madeiras históricas do barroco mineiro: interfaces entre o patrimônio cultural material e a anatomia da madeira. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 62, n. 2, p. 241-251, 2011.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de Plantas**. 5 ed ver. e ampl. Editora UFV, Viçosa, 2009, 529p.
- BRASIL, Centro Nacional de conservação da flora. **Projeto Lista Vermelha: lista vermelha**. 2014. Brasília. Disponível em: <<http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/listavermelha>>. Acesso: 17/12/15.
- CANUTO, D. S. O.; SILVA, A. M.; MORAES, M. L. T.; RESENDE, M. D. V. Estabilidade e adaptabilidade em testes de progênies de *Myracrodruon urundeuva* sob quatro sistemas de plantio. **Cerne**, Lavras, v. 22, n. 2, p. 171-180, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/1047760201622021978>
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras**: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. Colombo-PR: Empresa Brasileira de Agropecuária – Centro Nacional Pesquisas Florestais, Brasília, 1994, 640p.
- CURTO, R. A.; SILVA, G. F.; PEZZOPANE, J. E. M.; CHICHORRO, J. F.; MÔRA, R. Métodos de estratificação vertical em floresta estacional semidecidual. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 4, p. 643-654, 2013. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509812348>
- EMBRAPA_Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. ver. ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353p.
- FREITAS, M. L. M.; SEBBENN, A. M.; MORAIS, E.; ZANATTO, A. C. S.; VERARDI, C. K. Parâmetros genéticos em progênies de polinização aberta de *Cordia trichotoma* (Vell.) ex Steud. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 18, p. 95-102, 2006.
- FREITAS, M. L. M.; SEBBENN, A. M.; ZANATTO, A. C. S.; MORAIS, 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 *Galesia integrifolia* (Spreng.) Harms. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 165-173, 2008.

- GUERRA, C. R. S. B.; MORAES, M. L. T.; SILVA, C. L. S. P.; CANUTO, D. S. O.; ANDRADE, J. A. C.; FREITAS, M. L. M.; SEBBENN, A. M. Estratégias de seleção dentro de progênies em duas populações de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 81, p. 79-87, 2009.
- HIGA, A. R.; SILVA, L. D. **Pomar de sementes de espécies florestais nativas**. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 2006, 266p.
- KREMER, A.; RONCE, O.; ROBLEDO-ARNUNCIANO, J. J.; GUILLAUME, F.; BOHRER, G.; NATHAN, R.; BRIDLE, J. R.; GOMULKIEWICZ, R.; KLEIN, E. K.; RITLAND, K.; KUPARINEM, A.; GERBER, S.; SCHUELER, S. Long distance gene flow and adaptation of forest trees to rapid climate change. **Ecology Letters**, v. 15, n. 4, p. 378-392, 2012. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1461-0248.2012.01746.x>
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 3 ed., Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2000, 384p.
- MONTEIRO, J. M.; ARAÚJO, E. L.; AMORIM, E. L. C.; ALBUQUERQUE, U. P. Valuation of the aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão): perspectives on conservation. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 26, n. 1, p. 125-132, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062012000100014>
- MORAES, M. A.; FILHO, W. V. V.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, A. M.; MANOEL, R. O.; FREITAS, M. L. M.; MORAES, M. L. T.; SEBBENN, A. M. Produtividade, estabilidade e adaptabilidade em progênies de *Myracrodruon urundeuva* F.F. & M.F. Allemão – Anacardiaceae. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 93, p. 69-76, 2012.
- MORAES, M.L.T.; KAGEYAMA, P.Y.; SEBBENN, A.M. Diversidade e estrutura genética espacial em duas populações de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. sob diferentes condições antrópicas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 281-289, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622005000200011>
- MORAES, M.A.; MORAES, S.M.B.; SILVA, E.C.B.; KUBOTA, T.Y.K.; SILVA, A.M.; RESENDE, M.D.V.; MORAES, M.L.T. Variação genética em progênies de *Jacaranda cuspidifolia* Mart. Utilizando o delineamento sistemático tipo “leque”. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 98, p. 175-183, 2013.
- OLIVEIRA, F. P.; SOUZA, A. L.; FERNANDES FILHO, E. I. Caracterização da monodominância de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All.) no município de Tumiritinga-MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 2, p. 299-311, 2014. <http://dx.doi.org/10.9502/1980509814568>
- OTSUBO, H. C. B.; MORAES, M. L. T.; MORAES, M. A.; JOSÉ NETO, M.; FREITAS, M. L. M.; COSTA, R. B.; RESENDE, M. D. V.; SEBBENN, A. M. Variação genética para caracteres silviculturais em três espécies arbóreas da região do bolsão sul-mato-grossense. **Cerne**, Lavras, v. 21, n. 4, p. 535-544, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201521041317>
- RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2002. 975p.
- RESENDE, M. D. V. **Matemática e estatística na análise de experimento e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007b. 362p.
- RESENDE, M. D. V. **Software SELEGEN – REML/BLUP: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007a. 359p.
- RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle experimental de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.
- 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.
- ROCHA, R. B.; VIEIRA, A. H.; GAMA, M. M. B.; ROSSI, L. M. B. Avaliação genética de procedências de bandarra (*Schizolobium amazonicum*) utilizando REML/BLUP (Máxima verossimilhança restrita/Melhor predição linear não viciada). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 351-358, 2009.
- SANT’ANA, V. Z.; FREITAS, M. L. M.; MORAES, M. L. T.; ZANATA, M.; ZANATTO, A. C. S.; MORAES, M. A.; SEBBENN, A. M. Parâmetros genéticos em progênies de polinização aberta de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong em Luiz Antônio, SP, Brasil. **Hoehnea**, São Paulo, v. 40, n. 3, p. 515-520, 2013.
- SANTOS, G. O.; HERNANDEZ, F. B. T. Uso do solo e monitoramento dos recursos hídricos no córrego do Ipê, Ilha Solteira, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 1, p. 60-68, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000100009>
- 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.
- 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.; FREITAS, M. L. M.; ZANATTO, A. C. S.; MORAIS, E.; MORAES, M. A. Comportamento da variação genética entre e dentro de procedências e progênies de *Gallesia integrifolia* Vell. Moq. para caracteres quantitativos. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 21, n. 2, p. 151-163, 2009.
- SENNA, S. N.; FREITAS, M. L. M.; ZANATTO, A. C. S.; MORAIS, E.; ZANATA, M.; MORAES, M. L. T.; SEBBENN, A. M. Variação e parâmetros genéticos em teste de progênies de polinização livre de *Peltophorum dubium* (Sprengel) taubert em Luiz Antônio-SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.40, n. 95, p.345-352, 2012.
- SHIMIZU, J. Y. Estratégia complementar para conservação de espécies florestais nativas: resgate e conservação de ecótipos ameaçados. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 54, p. 07-35, 2007.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992, 486p.
- VIEIRA, L. M.; CASTRO, C. F. S.; DIAS, A. L. B.; SILVA, A. R. Fenóis totais, atividade antioxidante e inibição da enzima tirosinase de extratos de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. (Anacardiaceae). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Campinas, v. 17, n. 4, p. 521-527, 2015. http://dx.doi.org/10.1590/1983-084X/13_033