

Avaliação genética em erva-mate pelo procedimento BLUP individual multivariado sob interação genótipo x ambiente⁽¹⁾

Rosângela Maria Simeão⁽²⁾, José Alfredo Sturion⁽³⁾, Marcos Deon Vilela de Resende⁽³⁾, José Sebastião Cunha Fernandes⁽⁴⁾, Dalnei Dalzoto Neiverth⁽⁵⁾ e Angelo Luiz Ulbrich⁽⁶⁾

Resumo – Os objetivos deste trabalho foram estimar parâmetros genéticos e fenotípicos e realizar a predição de valores genéticos de matrizes e procedências de erva-mate (*Ilex paraguariensis*). Foram avaliadas 164 progênies de oito procedências, em três locais (Ivaí, PR, Guarapuava, PR e Rio Azul, PR), em relação ao caráter produção de massa foliar (PMF). Os componentes de variância, parâmetros genéticos e valores genéticos foram estimados pelo procedimento REML/BLUP individual (máxima verossimilhança restrita/melhor predição linear não viciada), realizando a análise multivariada para os três locais. Os coeficientes de herdabilidade individual, no sentido restrito, para o caráter PMF foram 0,15 em Ivaí, 0,62 em Guarapuava e 0,23 em Rio Azul. A baixa magnitude desses coeficientes em Ivaí e Rio Azul demanda a utilização de métodos de seleção que utilizem todos os efeitos aleatórios do modelo estatístico. O efeito de procedências foi significativo em Ivaí e Rio Azul, com correlação fenotípica intraclasses de 0,13 em Ivaí e de 0,09 em Rio Azul. As procedências apresentaram correlação genética de 0,95 entre os locais Ivaí e Rio Azul. Nesses locais, as procedências foram mais estáveis nos diferentes ambientes do que as progênies. Foram preditos os valores genéticos em relação a todas as procedências e matrizes em todos os locais quanto ao caráter avaliado. As melhores procedências são Barão de Cotegipe, Quedas do Iguaçu, Cascavel e Ivaí.

Termos para indexação: *Ilex paraguariensis*, variação genética, valor genético, herdabilidade, melhora-mento de plantas.

Genetic evaluation in *Ilex paraguariensis* by the multivariate individual BLUP procedure with genotype-environment interaction

Abstract – The objectives of this paper were to estimate genetic and phenotypic parameters and to predict breeding values for parents and provenances of *Ilex paraguariensis*. Eight provenances with 164 progenies were evaluated on three sites (Ivaí, PR, Guarapuava, PR and Rio Azul, PR) for the trait leaf weight (LW). All the variance components, parameters and breeding values were obtained by REML/BLUP (restricted maximum likelihood/best linear unbiased prediction) procedure at the individual level, through multivariate analysis involving the three sites. The individual strict sense heritabilities for the trait LW were 0.15 in Ivaí, 0.62 in Guarapuava and 0.23 in Rio Azul, demanding more sophisticated selection methods in Ivaí and Rio Azul. The provenance effect was significant in Ivaí and Rio Azul, with intraclass phenotypic correlation of 0.13 in Ivaí and 0.09 in Rio Azul. The provenances were more stable across sites than progenies with genetic correlation of 0.95 between the sites Ivaí and Rio Azul. Genetic values for all provenances and parents in all sites were predicted for the trait LW. The best provenances are Barão de Cotegipe, Quedas do Iguaçu, Cascavel and Ivaí.

Index terms: *Ilex paraguariensis*, genetic variation, genetic value, heritability, plant improvement.

⁽¹⁾ Aceito para publicação em 16 de maio de 2002.

Extraído da tese de doutorado apresentada pelo primeiro autor à Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR.

⁽²⁾ Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte, Caixa Postal 154, CEP 79002-970 Campo Grande, MS. E-mail: rosangela@cnpqc.embrapa.br

⁽³⁾ Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, Caixa Postal 319, CEP 83411-000 Colombo, PR. E-mail: sturion@cnpf.embrapa.br, deon@cnpf.embrapa.br

⁽⁴⁾ UFPR, Dep. de Genética, Caixa Postal 19071, CEP 81531-990 Curitiba, PR. E-mail: cunha@bio.ufpr.br

⁽⁵⁾ Neiverth Filho & Cia. Ltda., Fazenda Vila Nova, Caixa Postal 11, CEP 84460-000 Ivaí, PR. E-mail: bitu@interponta.com.br

⁽⁶⁾ ALU - Agronomia e Planejamento Agrário Ltda, Rua Ivaí Martins, 210, CEP 84560-000 Rio Azul, PR. E-mail: pmrioazul@net-uniao.com.br

Introdução

A erva-mate, produzida sob cultivo ou por extrativismo, apresenta grande importância socioeconômica na Região Sul do Brasil.

A atual produção brasileira não tem atendido a demanda interna, fazendo-se necessária a importação de matéria-prima da Argentina (Gortari, 1997; Rucker & Gortari, 1997; Balcewicz & Graça, 2000). A baixa produtividade dos ervais se deve, em parte, à necessidade de melhoria de técnicas de cultivo e de colheita, e também à baixa qualidade genética e fisiológica das sementes utilizadas nos plantios (Resende et al., 1995).

Com o objetivo de obter cultivares na forma de clones e sementes geneticamente superiores, iniciaram-se, na década de 1990, no Brasil, programas de melhoramento genético da cultura, que têm enfatizado os caracteres silviculturais relativos à adaptação, produção de massa verde, resistência a pragas e doenças, desfolhamento e tipo de ramificação (Resende et al., 2000).

Tais programas, conduzidos pela Embrapa (PROMEGEM/Embrapa) (Resende et al., 2000) e pela Epagri (Floss, 1997), apóiam-se na avaliação de procedências e progênies de meios-irmãos de erva-mate em vários locais, constituindo assim as populações bases de melhoramento genético.

Nesta situação, a avaliação genética e seleção são bastante complexas, em decorrência da interação genótipo x ambiente e de aspectos relativos à quantificação da variabilidade genética entre e dentro de procedências, associados aos produtos finais de interesse. Além disso, a erva-mate é dióica e, desse modo, machos e fêmeas devem ser selecionados com a máxima precisão, com a finalidade de se constituir populações de melhoramento.

A consideração desses fatores nos métodos de seleção conduz à necessidade de predição dos valores genéticos dos indivíduos (matrizes e progênies) e das procedências em relação a cada ambiente. Desta forma, torna-se possível a predição do mérito genético total do indivíduo em cada ambiente em que for utilizado (Resende et al., 1999).

Em situações de dados desbalanceados, o procedimento ótimo de predição de variáveis aleatórias (valores genéticos) é o BLUP (Best Linear Unbiased

Prediction) (Henderson, 1984; Searle et al., 1992), o qual assume que os componentes de variância são conhecidos. Na prática, os componentes de variância devem ser estimados com a maior precisão possível, empregando-se o procedimento padrão no contexto dos modelos lineares mistos, que é o da máxima verossimilhança restrita (REML), conforme Searle et al. (1992). Tal procedimento permite a seleção de indivíduos com os maiores valores genéticos, independentemente de sua procedência, sendo esta a estratégia mais plausível em termos seletivos, em detrimento da seleção de procedências (Resende, 1997).

Os objetivos deste trabalho foram estimar parâmetros genéticos e fenotípicos e realizar a predição dos valores genéticos de matrizes e procedências de erva-mate.

Material e Métodos

Foram avaliadas oito procedências amostradas em populações naturais dos Estados do Paraná e Rio Grande do Sul. As coordenadas geográficas e a caracterização ambiental dos locais de coleta e dos locais de experimentação são apresentadas na Tabela 1. O número de progênies amostradas por procedência variou de 1 a 25, resultando em um total de 164 progênies, das quais 141 foram avaliadas em Ivaí, PR, 102 em Guarapuava, PR e 156 em Rio Azul, PR. Foi adotado o delineamento em blocos ao acaso nos três locais, com as progênies das várias procedências alocadas aleatoriamente dentro de cada bloco. O número de repetições diferiu entre os locais de experimentação, tendo sido avaliadas cinco repetições em Guarapuava e Rio Azul e dez repetições em Ivaí, todas com seis plantas por parcela linear. O espaçamento variou de 1,8x2,5 m a 3x2 m entre os locais.

O caráter produção de massa foliar (kg) foi avaliado aos 28 meses em Ivaí e aos 26 meses em Guarapuava e Rio Azul. A taxa de sobrevivência média foi de 96%.

O modelo estatístico e os preditores de valores genéticos utilizados na realização da análise multivariada de cada procedência avaliada em três locais de experimentação foram os apresentados por Resende (1999) e Resende et al. (1999).

Na análise multivariada de todas as procedências, nos três locais, considerou-se o seguinte modelo:

$$y = Xb + Za + Wp + Tc + e,$$

em que y , b , a , p , c e e são vetores de dados em nível de indivíduo, de efeitos fixos (médias de blocos por local), de efeitos genéticos aditivos (aleatório), de efeitos de procedências (aleatório), de efeitos de parcela de progênies (aleatório) e de erros aleatórios, respectivamente; X , Z , W e T

Tabela 1. Coordenadas geográficas, dados climáticos e classificação dos solos predominantes nos municípios referentes aos locais de experimentação e de amostragem das populações naturais de erva-mate⁽¹⁾.

| Local | Latitude (Sul) | Longitude (Oeste) | Altitude (m) | Precipitação (mm) | Temperatura °C | | Tipo climático ⁽²⁾ | Trimestre chuvoso (dez., jan., fev.) (mm) | Trimestre mais chuvoso (jun., jul., ago.) (mm) | Solo do experimento ou solos dominantes na região |
|--------------------------------------|----------------|-------------------|--------------|-------------------|----------------|--------------|-------------------------------|---|--|---|
| | | | | | Média (jul.) | Média (fev.) | | | | |
| Colombo, PR ⁽³⁾ | 25° 22' | 49° 6' | 912 | 1.400-1.500 | 12-13 | 20-21 | 16-17 | 550-600 | 250-300 | Cambissolo Húmido aluminico, textura argilosa |
| Cascavel, PR ⁽³⁾ | 24° 57' | 53° 27' | 750 | 1.800-2.000 | 13-14 | 21-22 | 18-19 | 550-600 | 350-400 | Latossolo Vermelho distrófico, textura argilosa |
| Queadas do Iguaçu, PR ⁽³⁾ | 25° 25' | 52° 55' | 590 | - | - | 23-24 | 18-19 | 400-450 | 350-400 | Nitossolo Vermelho eutrófico, textura argilosa |
| Ivaí, PR ^{(3),(4)} | 25° 1' | 50° 48' | 600 | 1.500-1.600 | 13-14 | 21-22 | 17-18 | 450-500 | 300-350 | Latossolo Vermelho distrófico, textura argilosa |
| Barão de Cotegipe, RS ⁽³⁾ | 27° 38' | 52° 23' | 530 | - | - | - | - | - | - | Nitossolo Vermelho eutrófico, textura argilosa |
| Pinhão, PR ⁽³⁾ | 25° 41' | 51° 40' | 1.050 | 1.500-1.600 | 12-13 | 21-22 | 17-18 | 550-600 | 350-400 | Latossolo Vermelho distrófico, textura argilosa |
| Antônio Olinto, PR ⁽³⁾ | 25° 59' | 50° 12' | 790 | 1.200-1.300 | 12-13 | 21-22 | 17-18 | 400-450 | 250-300 | Cambissolo Húmido aluminico, textura argilosa |
| São Mateus do Sul, PR ⁽³⁾ | 25° 51' | 50° 23' | 760 | 1.300-1.400 | 12-13 | 21-22 | 17-18 | 400-450 | 250-300 | Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico |
| Guarapuava, PR ⁽⁴⁾ | 25° 26' | 51° 15' | 1.100 | 1.500-1.600 | 13-14 | 20-21 | 16-17 | 550-600 | 350-400 | Latossolo Vermelho distrófico, textura argilosa |
| Rio Azul, PR ⁽⁴⁾ | 25° 44' | 50° 46' | 950 | 1.400-1.500 | 12-13 | 20-21 | 16-17 | 400-450 | 250-300 | Cambissolo Húmido aluminico, textura argilosa |

⁽¹⁾Resende et al. (2000). ⁽²⁾Cf: clima pluvial temperado sempre úmido, com temperatura do mês mais quente superior a 22°C. ⁽³⁾Local de coleta. ⁽⁴⁾Local de experimentação.

são matrizes de incidência para b, a, p e c, respectivamente.

Os modelos por local foram:

$$y_1 = X_1b_1 + Z_1a_1 + W_1p_1 + T_1c_1 + e_1$$

$$y_2 = X_2b_2 + Z_2a_2 + W_2p_2 + T_2c_2 + e_2$$

$$y_3 = X_3b_3 + Z_3a_3 + W_3p_3 + T_3c_3 + e_3.$$

Adotando-se um modelo multivariado (Henderson & Quaas, 1976; Schaeffer et al., 1978; Resende, 1999), estes modelos podem ser expressos por:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & 0 & 0 \\ 0 & X_2 & 0 \\ 0 & 0 & X_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_1 & 0 & 0 \\ 0 & Z_2 & 0 \\ 0 & 0 & Z_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_1 & 0 & 0 \\ 0 & w_2 & 0 \\ 0 & 0 & w_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_1 & 0 & 0 \\ 0 & T_2 & 0 \\ 0 & 0 & T_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{bmatrix}$$

em que a_1 fornece os valores genéticos preditos de todos os indivíduos para o local 1, a_2 fornece os valores genéticos de todos os indivíduos para o local 2 e a_3 fornece os valores genéticos de todos os indivíduos para o local 3. Da mesma forma p_1 , p_2 e p_3 fornecem os efeitos de procedência nos locais 1, 2 e 3, respectivamente. Os componentes de variância, parâmetros genéticos e valores genéticos dos indivíduos e matrizes foram estimados usando o programa DFREML (Meyer, 1998).

Por meio da análise das progênies e procedências conjuntamente nos três locais, pelo modelo multivariado, foi possível avaliar a distribuição da variabilidade genética e fenotípica dentro e entre locais quanto ao caráter produção de massa foliar.

O mérito genético total de um indivíduo por local (a_j^*) foi determinado, segundo Resende et al. (1999), pela equação:

$$a_j^* = r_j + a_j,$$

em que r_j é o efeito de procedência no local j ; a_j é o efeito aditivo do indivíduo no local j .

Resultados e Discussão

As estimativas de herdabilidades individuais, no sentido restrito, obtidas por procedência em cada local de experimentação, variaram amplamente em magnitude (Tabela 2). Com exceção da procedência Barão de Cotegipe, avaliada em Rio Azul, todas as outras apresentaram valores de herdabilidade que podem ser classificados de moderados ($0,15 < h^2 < 0,50$) a altos ($h^2 > 0,50$).

Resende & Rosa-Perez (1999) relataram que desvios-padrão da ordem de até 20% do valor verdadeiro da herdabilidade são aceitáveis na predição de valores genéticos. Verificou-se, com base neste critério, que este parâmetro não foi estimado com muita

precisão, dentro de cada procedência em cada local, provavelmente em função da amostragem realizada. Métodos de seleção, como o índice multifeitos ou o BLUP, podem ser aplicados, não conduzindo a erros na seleção, mas, implicando erros nas estimativas do progresso genético.

Todas as procedências avaliadas em Ivaí, PR, apresentaram, em média, magnitude de herdabilidade individual, no sentido restrito, semelhantes às estimadas em alguns estudos com a espécie, quanto às procedências diferentes ($h^2 = 0,19$) (Resende et al., 2000) e em relação às procedências e progênes comuns às deste trabalho, avaliadas em Pinhais, PR ($h^2 = 0,16$) (Fernandes et al., 2000).

Quatro procedências (Ivaí, Pinhão, Cascavel e Colombo) avaliadas em Rio Azul e todas as proce-

dências avaliadas em Guarapuava apresentaram magnitudes de herdabilidade bastante altas e discrepantes em relação a essas mesmas procedências avaliadas em Ivaí.

Deve-se considerar que o parâmetro herdabilidade é uma propriedade não somente de um caráter, mas também da população e das circunstâncias de ambiente a que os indivíduos estão sujeitos. Considerando-se que o valor da herdabilidade depende da magnitude de todos os componentes de variância, uma alteração em qualquer um deles afetará o seu valor (Falconer, 1989).

Em Ivaí, obteve-se média de produção de massa verde significativamente maior que a obtida em Guarapuava e Rio Azul, as quais não diferiram estatisticamente (Tabela 2).

Tabela 2. Coeficiente de herdabilidade individual no sentido restrito e desvio-padrão (h_a^2), coeficiente de variação genética aditiva (CV_a), variância genética aditiva (σ_a^2), média (\bar{X}) e desempenho esperado em cada procedência após uma geração de seleção (\bar{X}_N) utilizando a mesma intensidade ($i = 2,063$), por procedência, por local de experimentação, em relação ao caráter produção de massa foliar em erva-mate.

| Procedência | h_a^2 | CV_a (%) | σ_a^2 | \bar{X} ⁽¹⁾ | \bar{X}_N |
|-------------------------------|-------------|------------|--------------|--------------------------|-------------|
| Ivaí | | | | | |
| Ivaí | 0,15 ± 0,06 | 27,44 | 0,047 | 0,79 | 0,96 |
| Barão de Cotegipe | 0,23 ± 0,08 | 32,60 | 0,075 | 0,84 | 1,11 |
| Quedas do Iguaçu | 0,14 ± 0,06 | 24,11 | 0,041 | 0,84 | 1,00 |
| Pinhão | 0,17 ± 0,07 | 36,99 | 0,037 | 0,52 | 0,68 |
| Cascavel | 0,15 ± 0,06 | 27,33 | 0,042 | 0,75 | 0,91 |
| Colombo | 0,22 ± 0,09 | 54,77 | 0,027 | 0,30 | 0,46 |
| Média | 0,18 | 33,87 | 0,045 | 0,67a | 0,85 |
| Guarapuava | | | | | |
| Ivaí | 0,78 ± 0,19 | 77,78 | 0,032 | 0,23 | 0,56 |
| Barão de Cotegipe | 0,92 ± 0,25 | 86,75 | 0,059 | 0,28 | 0,76 |
| Quedas do Iguaçu | 0,74 ± 0,22 | 90,35 | 0,036 | 0,21 | 0,55 |
| Pinhão | 0,46 ± 0,22 | 52,16 | 0,012 | 0,21 | 0,36 |
| Cascavel | 0,53 ± 0,17 | 70,63 | 0,022 | 0,21 | 0,43 |
| Colombo | 0,44 ± 0,22 | 72,44 | 0,017 | 0,18 | 0,36 |
| Média | 0,65 | 75,02 | 0,030 | 0,22b | 0,50 |
| Rio Azul | | | | | |
| Ivaí | 0,43 ± 0,14 | 55,74 | 0,021 | 0,26 | 0,46 |
| Barão de Cotegipe | 0,06 ± 0,06 | 20,40 | 0,004 | 0,31 | 0,34 |
| Quedas do Iguaçu | 0,22 ± 0,10 | 45,61 | 0,013 | 0,25 | 0,36 |
| Pinhão | 0,56 ± 0,16 | 72,46 | 0,021 | 0,20 | 0,42 |
| Cascavel | 0,45 ± 0,14 | 52,05 | 0,025 | 0,30 | 0,52 |
| Colombo | 0,55 ± 0,19 | 79,06 | 0,009 | 0,12 | 0,27 |
| Antônio Olinto ⁽²⁾ | 0,19 ± 0,11 | 40,46 | 0,008 | 0,22 | 0,30 |
| Média | 0,35 | 52,25 | 0,014 | 0,24b | 0,38 |

⁽¹⁾Médias por local com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 1% de probabilidade. ⁽²⁾A procedência Antônio Olinto foi avaliada apenas em Rio Azul em razão do baixo número de mudas obtidas.

Os locais onde foram instalados os experimentos situam-se dentro da mesma região bioclimática (Região 1) (Embrapa, 1986) e dentro da região de ocorrência natural da espécie (Oliveira & Rotta, 1985). Por essa razão, acredita-se que as diferenças evidenciadas na produtividade não podem ser atribuídas ao clima.

Com relação à aptidão ou fertilidade, o solo em Ivaí recebeu nota quatro e em Guarapuava e Rio Azul, nota dois (numa escala de um a quatro, do pior para o melhor) (Resende et al., 2000). Infere-se que as diferenças evidenciadas entre os três locais quanto à produtividade de massa foliar podem ser atribuídas aos fatores de fertilidade de solo.

Quanto à variabilidade genética aditiva (σ_a^2) expressa, Ivaí sobressaiu-se em relação aos demais locais. Deve-se considerar, entretanto, que o parâmetro mais apropriado para comparar a variabilidade genética expressa quanto ao caráter, por local de experimentação, é o coeficiente de variação genética aditiva (CV_a), que apresentou maior média em Guarapuava (75,02%).

A seleção de indivíduos deve basear-se tanto em componentes de variância quanto em componentes de média. Para propiciar ganhos genéticos contínuos com seleção ao longo de várias gerações devem ser selecionados materiais genéticos com média elevada e ampla variabilidade genética. A expressão desses dois componentes conjuntamente deve ser pela média da população melhorada (Simmonds, 1989), nesse caso, por meio da seleção direta do caráter produção de massa foliar. Empregando-se uma mesma intensidade de seleção ($i = 2,063$), as médias das populações melhoradas (\bar{X}_N) quanto ao caráter produção de massa foliar foram calculadas por procedência e por local. Com base neste critério, verificou-se que as populações com maior potencial de ganho com seleção foram basicamente as mesmas em Ivaí e em Guarapuava. Assim, as procedências Barão de Cotequipe, Quedas do Iguaçu, Ivaí e Cascavel foram as que apresentaram maior variabilidade, maior média e maior potencial seletivo nos dois locais. Em Rio Azul, as procedências com maior potencial seletivo foram, em ordem decrescente, Cascavel, Ivaí, Pinhão e Quedas do Iguaçu, das quais três coincidem com as melhores em Ivaí e Guarapuava.

A procedência Barão de Cotequipe foi superior às outras procedências em relação aos caracteres altura da planta e diâmetro da copa, evidenciados por

Floss (1994), e quanto aos caracteres altura da planta e produção de massa foliar, evidenciados por Fernandes et al. (2000). Esses resultados servem para orientar a coleta de germoplasma neste e em outros locais para este e outros programas de melhoramento da espécie.

As herdabilidades individuais no sentido restrito quanto ao caráter produção de massa foliar estimadas em Ivaí (0,15) e em Rio Azul (0,23) (Tabela 3) apresentaram magnitudes semelhantes à obtida por Sturion et al. (1995), em relação à primeira safra no teste de procedências/progêneses realizado em Colombo, PR ($h^2 = 0,19$).

Como as herdabilidades estimadas em Ivaí e Rio Azul foram de magnitudes moderadas, indica-se a utilização de métodos mais elaborados de seleção, como o índice multifeitos, que usa todos os efeitos aleatórios do modelo estatístico no caso balanceado, ou o BLUP individual, nos casos balanceado e desbalanceado. Esses métodos elevam a magnitude da precisão seletiva e, simultaneamente, o ganho com seleção (Resende, 1999).

Em Guarapuava, a herdabilidade estimada pode

Tabela 3. Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos obtidos da análise conjunta de procedências e locais, em relação ao caráter produção de massa foliar, em erva-mate.

| Parâmetros ⁽¹⁾ | Ivaí | Guarapuava | Rio Azul |
|---------------------------|----------------------|--------------------|--------------------------|
| h_{ad}^2 | 0,15 ± 0,03 | 0,62 ± 0,12 | 0,23 ± 0,06 |
| h_{aE}^2 | 0,13 ± 0,07 | 0,00 | 0,09 ± 0,05 |
| c^2 | 0,10 | 0,13 | 0,16 |
| CV_a (%) | 31,30 | 73,41 | 44,74 |
| ρ_p (%) | 47,52 | - | 27,39 |
| Média do local | 0,69 | 0,23 | 0,24 |
| \bar{X}_N | 0,86 | 0,50 | 0,35 |
| | Ivaí - Guarapuava | Ivaí - Rio Azul | Guarapuava - Rio Azul |
| ρ_a | 0,41 ± 0,13 | 0,39 ± 0,15 | 0,28 ± 0,15 |
| ρ_{P12} | - | 0,95 | - |
| ρ_F | 0,12 | 0,18 | 0,11 |

(1) h_{ad}^2 : herdabilidade individual no sentido restrito; h_{aE}^2 : correlação fenotípica intraclasse entre indivíduos de diferentes famílias mas da mesma procedência; c^2 : correlação intraclasse em virtude do ambiente comum da parcela para cada local; CV_a : coeficiente de variação genética aditiva; ρ_p : correlação genética intraclasse entre indivíduos de uma mesma procedência mas de diferentes famílias; \bar{X}_N : desempenho esperado em uma geração de seleção; r_i : correlação genética aditiva entre locais; ρ_{P12} : correlação genética entre o desempenho de procedências de um local para outro não estimado entre Ivaí-Guarapuava e Rio Azul-Guarapuava pela não significância do efeito de procedências em Guarapuava; ρ_F : correlação fenotípica entre locais.

ser classificada como de magnitude alta. Neste caso, praticamente não há vantagem no uso da informação de família, já que a seleção baseada apenas na informação de indivíduo propiciará uma precisão alta ($r_{aa} = 0,79$).

As correlações genéticas aditivas dos locais foram de baixa magnitude em todas as combinações de locais (Tabela 3). Assim, as famílias com melhor desempenho em um local não foram, necessariamente, as melhores nos outros locais. Esse resultado indicou que serão necessários programas de melhoramento específicos para cada local, uma vez que o uso da seleção indireta (seleção em um local visando ganho em outro) implicaria menor progresso com seleção.

O parâmetro correlação fenotípica intraclasse entre indivíduos de diferentes famílias mas da mesma procedência (denominada vulgarmente de herdabilidade individual entre procedências ou h_{aE}^2) apresentou magnitude baixa nos três locais (Tabela 3). Entretanto, deve-se considerar que a variância genética aditiva entre procedências utilizada na estimação deste parâmetro é uma fração da variância genética aditiva total. Estimou-se, assim, o parâmetro correlação genética intraclasse entre indivíduos de uma mesma procedência mas de diferentes famílias (ρ_p), que é a fração variância genética aditiva total determinada pela variação genética aditiva entre procedências, supondo que toda a variação genética entre procedências é de natureza aditiva (Tabela 3).

Em Ivaí, 47,52% da variância genética aditiva total foi determinada pela variância genética aditiva entre procedências; em Rio Azul essa proporção foi de 27,39% e em Guarapuava esse valor foi nulo, pois o efeito de procedências não foi significativo para este local.

Esse resultado revela que em Ivaí serão selecionadas mais matrizes e indivíduos das procedências Ivaí, Barão de Cotegipe, Quedas do Iguaçu e Cascavel do que das outras procedências avaliadas no local.

A correlação genética das procedências em Ivaí e Rio Azul mostrou-se altíssima, revelando a ausência de interação procedência x local, em sua parte complexa (Tabela 3). Isso significa que as melhores procedências em um local também o serão no outro, como demonstrado com base nos valores genéticos das

procedências estimados por local (Tabela 4). Assim, as melhores procedências nos dois locais foram Barão de Cotegipe, Quedas do Iguaçu, Ivaí e Cascavel.

Resultado semelhante foi obtido por Fernandes et al. (2000), que avaliaram as mesmas procedências em Pinhais, PR e constataram que as procedências Barão de Cotegipe, Quedas do Iguaçu e Cascavel sobressaíram-se entre as demais, em relação aos caracteres altura da planta e produção de massa foliar.

Caso fosse realizada a seleção destas quatro procedências, com base em seus valores genéticos, seriam obtidos ganhos de 24,42% em Ivaí e de 21,77% em Rio Azul.

Dvorak & Shaw (1992) e Hodge & Dvorak (1999) também evidenciaram que procedências eram mais estáveis nos ambientes do que nas famílias, ao avaliar testes de procedências e progênies do gênero *Pinus*, quanto a caracteres de crescimento.

Floss (1994), em um estudo de procedências de erva-mate, constatou que a interação procedência x local foi altamente significativa aos 21 meses de idade e não significativa aos 71 meses quanto aos caracteres diâmetro da copa e altura. Com base nos resultados desse autor, estimou-se que a correlação genética das procedências nos dois locais de avaliação foi de 95% em relação ao caráter diâmetro da copa e de 86% quanto à altura, aos 21 meses de idade. Esses resultados corroboram a maior estabilidade de procedências em diferentes locais, em erva-mate.

Considerando-se que a erva-mate é dióica, o ganho genético com a propagação sexuada deve ser expresso como uma média do ganho com a seleção de fêmeas e do ganho com a seleção de machos, se forem recombinados números equivalentes de indi-

Tabela 4. Valores genéticos das procedências avaliadas experimentalmente em Ivaí, Rio Azul e Guarapuava, em relação ao caráter produção de massa foliar, em erva-mate.

| Procedência | Ivaí | Guarapuava | Rio Azul |
|-------------------|------|------------|----------|
| Ivaí | 0,84 | 0,24 | 0,28 |
| Barão de Cotegipe | 0,89 | 0,25 | 0,32 |
| Quedas do Iguaçu | 0,88 | 0,24 | 0,28 |
| Pinhão | 0,58 | 0,22 | 0,21 |
| Cascavel | 0,82 | 0,24 | 0,30 |
| Colombo | 0,36 | 0,19 | 0,13 |
| Antônio Olinto | 0,65 | 0,22 | 0,23 |
| São Mateus do Sul | 0,49 | 0,21 | 0,18 |

vídus selecionados com a mesma precisão (Resende et al., 1997). O que, na prática, isto ainda não acontece.

A fim de maximizar o ganho genético no sistema de propagação via sementes, pode-se adotar a estratégia de seleção de matrizes, com base no teste de suas progênes, com a seleção de machos dentro dos testes de progênes, desde que não sejam filhos das matrizes selecionadas. Os ganhos com seleção e respectivos intervalos de confiança foram estimados, em cada local, considerando três situações: 1) pomar biclonal, constituído pela melhor matriz e pelo melhor macho do teste de progênes; 2) pomar heptaclonal, constituído pela seleção das três melhores matrizes e dos quatro melhores machos no teste de progênes e 3) seleção das dez melhores matrizes e dos dez melhores machos no teste de progênes (Tabela 5).

Nos três locais, o pomar heptaclonal maximizou o limite inferior do intervalo de confiança do ganho em relação ao pomar biclonal (Tabela 5), corroborando o resultado obtido mediante simulações por Resende et al. (1997). O pomar heptaclonal apresentou uma vantagem pequena (1,50%), quanto ao limite inferior do intervalo de confiança do ganho, em relação ao pomar de sementes clonal com 20 indivíduos em Ivaí e nenhuma vantagem em Rio Azul.

As vantagens de se utilizar um pomar clonal com 20 indivíduos na população de produção estão relacionadas ao maior tamanho efetivo obtido. Esse nú-

mero permite ainda a realização de maior número de cruzamentos controlados (delineamentos de cruzamentos), aumentando a eficiência do melhoramento.

Conclusões

1. A variabilidade genética quanto a produção de massa foliar, quantificada pelos parâmetros herdabilidade individual, no sentido restrito, e a correlação fenotípica intraclasse entre indivíduos de uma mesma procedência, em relação ao caráter produção de massa foliar, indicam que métodos de seleção que utilizam todos os efeitos aleatórios do modelo estatístico, na predição dos valores genéticos, devem ser empregados nos testes de Ivaí e Rio Azul; em Guarapuava, a seleção baseada apenas na informação de indivíduo já propicia uma alta eficiência.

2. As procedências são mais estáveis, ou seja, apresentam maior correlação genética entre os locais do que as progênes, quanto ao caráter produção de massa foliar em erva-mate; as correlações genéticas aditivas entre os locais são de baixa magnitude e indicam que serão necessários programas de melhoramento específicos para cada local.

3. Simulações de ganho com seleção, baseadas nos valores genéticos preditos em relação a todos os indivíduos candidatos e no tamanho efetivo, possibilitam estabelecer a melhor estratégia de seleção quanto ao aumento da eficiência do melhoramento.

Referências

BALCEWICZ, L. C.; GRAÇA, L. R. A competitividade da erva-mate no Estado do Paraná (BR) e na província de Misiones (AR), em três níveis tecnológicos. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 2.; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE, 3., 2000, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: UFRGS, 2000. p. 199-202.

DVORAK, W. S.; SHAW, E. A. **Five years results for growth and stem form of *Pinus tecunumanii* in Brazil, Colombia and South Africa.** Raleigh: North Carolina State University/Central American and Mexico Coniferous Resource, 1992. 22 p. (Bulletin on Tropical Forestry, 10).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas (Curitiba, PR). **Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado do Paraná.** Curitiba: Embrapa-CNPQ, 1986. 89 p. (Documentos, 17).

Tabela 5. Ganhos genéticos (Gs) associados a diferentes combinações de números de fêmeas (F) e de machos (M) selecionados por local de experimentação, para constituir a população de produção⁽¹⁾.

| F | M | r _{IA} | N _e | G _{SF} | G _{SM} | G _S | I.C. |
|------------|----|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------|
| Ivaí | | | | | | | |
| 1 | 1 | 0,645 | 2,0 | 0,470 | 0,435 | 0,453 | 0,225 - 0,681 |
| 3 | 4 | 0,645 | 6,9 | 0,404 | 0,391 | 0,398 | 0,275 - 0,521 |
| 10 | 10 | 0,645 | 20,0 | 0,323 | 0,365 | 0,344 | 0,271 - 0,417 |
| Guarapuava | | | | | | | |
| 1 | 1 | 0,840 | 2,0 | 0,385 | 0,494 | 0,439 | 0,314 - 0,564 |
| 3 | 4 | 0,840 | 6,9 | 0,329 | 0,439 | 0,384 | 0,317 - 0,451 |
| 10 | 10 | 0,840 | 20,0 | 0,256 | 0,404 | 0,330 | 0,291 - 0,369 |
| Rio Azul | | | | | | | |
| 1 | 1 | 0,630 | 2,0 | 0,220 | 0,230 | 0,225 | 0,107 - 0,343 |
| 3 | 4 | 0,630 | 6,9 | 0,189 | 0,200 | 0,195 | 0,132 - 0,258 |
| 10 | 10 | 0,630 | 20,0 | 0,151 | 0,188 | 0,169 | 0,132 - 0,206 |

⁽¹⁾r_{IA}: precisão seletiva média; N_e: tamanho efetivo; G_{SF}, G_{SM}: ganho com seleção de fêmeas e de machos, respectivamente; I.C.: intervalo de confiança do ganho com seleção, com base no valor genético aditivo.

- FALCONER, D. S. **Introduction to quantitative genetics**. New York: Ronald, 1989. 438 p.
- FERNANDES, J. S. C.; USHIWATA, S.; DAMINELLI, R. M.; GABARDO, J.; KOBAYAMA, M.; MACCARI JUNIOR, A.; PREVEDELLO, C.; RESENDE, R. M. S.; RESENDE, M. D. V. de; STURION, J. A. Estimativas de parâmetros relacionados ao melhoramento genético da erva-mate: possibilidade de seleção precoce. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 1, n. 1/2, p. 45-53, 2000.
- FLOSS, P. A. Programa de melhoramento genético da erva-mate na Epagri. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 1.; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE, 2., 1997, Curitiba. **Anais...** Colombo: Embrapa-CNPf, 1997. p. 279-284. (Documentos, 33).
- FLOSS, P. A. **Variações genéticas entre populações naturais de *Ilex paraguariensis* St. Hil. (erva-mate) avaliadas em Chapecó-SC e Três Barras-SC**. 1994. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1994.
- GORTARI, J. El Mercosur y la economía yerbatera: una aproximación al impacto en la pequeña producción regional. In.: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 1.; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE, 2., 1997, Curitiba. **Anais...** Colombo: Embrapa-CNPf, 1997. p. 23-47. (Documentos, 33).
- HENDERSON, C. R. **Applications of linear models in animal breeding**. Guelph: University of Guelph, 1984. 462 p.
- HENDERSON, C. R.; QUAAS, R. L. Multiple trait evaluation using relatives records. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 3, p. 1188-1197, 1976.
- HODGE, G. R.; DVORAK, W. S. Genetic parameters and provenance variation of *Pinus tecunumanii* in 78 international trials. **Forest Genetics**, Zvolen, v. 6, n. 3, p. 157-180, 1999.
- MEYER, K. **DFREML version 3.0β**: user notes. Armidale: Institute of Animal Genetics of Edinburgh/Animal Genetics and Breeding Unit of the University of New England, 1998. 31 p.
- OLIVEIRA, Y. M. M.; ROTTA, E. Área de distribuição geográfica nativa de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 10., 1983, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Embrapa-CNPf, 1985. p. 17-36. (Documentos, 15).
- RESENDE, M. D. V. de. Avanços da genética biométrica florestal. In: ENCONTRO SOBRE TEMAS DE GENÉTICA E MELHORAMENTO, 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Esalq, 1997. p. 20-46.
- RESENDE, M. D. V. de. **Predição de valores genéticos, componentes de variância, delineamentos de cruzamento e estrutura de populações no melhoramento florestal**. 1999. 420 f. Tese (Doutorado em Genética) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.
- RESENDE, M. D. V. de; FERNANDES, J. S. C.; SIMEÃO, R. M. BLUP individual multivariado em presença de interação genótipo x ambiente para delineamentos experimentais repetidos em vários ambientes. **Revista de Matemática e Estatística**, São Paulo, v. 17, p. 209-228, 1999.
- RESENDE, M. D. V. de; ROSA-PEREZ, J. R. H. **Genética quantitativa e estatística no melhoramento animal**. Curitiba: UFPR, 1999. 494 p.
- RESENDE, M. D. V. de; STURION, J. A.; CARVALHO, A. P.; SIMEÃO, R. M.; FERNANDES, J. S. C. **Programa de melhoramento da erva-mate coordenado pela Embrapa: resultados da avaliação genética de populações, progênies, indivíduos e clones**. Colombo: Embrapa-CNPf, 2000. 65 p. (Circular Técnica, 43).
- RESENDE, M. D. V. de; STURION, J. A.; MENDES, S. **Genética e melhoramento da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**. Curitiba: Embrapa-CNPf, 1995. 33 p. (Documentos, 25).
- RESENDE, M. D. V.; STURION, J. A.; SIMEÃO, R. M. Estratégias para o melhoramento genético da erva-mate. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 1.; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE, 2., 1997, Curitiba. **Anais...** Colombo: Embrapa-CNPf, 1997. p. 243-266. (Documentos, 33).
- RUCKER, N. G. A.; GORTARI, J. Comércio exterior do mate: cooperação empresarial na competitividade. In.: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 1.; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE, 2., 1997, Curitiba. **Anais...** Colombo: Embrapa-CNPf, 1997. p. 9-21. (Documentos, 33).
- SCHAEFFER, L. R.; WILTON, J. W.; THOMPSON, R. Simultaneous estimation of variance and covariance components from multitrait mixed model equations. **Biometrics**, Washington, v. 34, p. 199-208, 1978.
- SEARLE, S. R.; CASELLA, G.; McCULLOCH, C. E. **Variance components**. New York: J. Wiley, 1992. 528 p.
- SIMMONDS, N. W. Rubber breeding. In: WEBSTER, C. C.; BAULKWILL, W. J. (Org.). **Rubber**. New York: Longman, 1989. p. 85-124.
- STURION, J. A.; RESENDE, M. D. V. de; MENDES, S. Proporção de sexo e efeito sobre a produtividade de biomassa foliar em erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 30/31, p. 19-27, 1995.