

## AVALIAÇÃO GENÉTICA DE INDIVÍDUOS DE ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) NA REGIÃO DE CAARAPÓ, MS, PELO PROCEDIMENTO REML/BLUP

GENETIC EVALUATION OF INDIVIDUALS OF ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) PROGENIES, IN THE CAARAPÓ/MS REGION, USING THE REML/BLUP PROCEDURE

Reginaldo Brito da Costa<sup>1</sup> Marcos Deon Vilela de Resende<sup>2</sup> Adriana Zanirato Contini<sup>3</sup>  
Flávio Luiz Hilário Rego<sup>3</sup> Raul Alfonso Rodrigues Roa<sup>4</sup> Wagner José Martins<sup>4</sup>

### RESUMO

O presente estudo objetivou estimar parâmetros e valores genéticos para os caracteres altura e diâmetro de indivíduos de erva-mate *Ilex paraguariensis* (St. Hil.) pela metodologia de modelos mistos (procedimento REML/BLUP). As progênies de meios-irmãos foram plantadas na Reserva Indígena Kaiowá e Guarani, em Caarapó/MS, sob delineamento de blocos ao acaso, com seis tratamentos (progênies), seis repetições e vinte plantas por parcela. Aos 9 meses de idade, foram avaliados os caracteres: altura total das mudas e diâmetro do coleto. Ganhos genéticos preditos de 4,16% foram obtidos para o caráter altura e 7,20% para o caráter diâmetro, com a seleção dos dez melhores indivíduos. Embora os ganhos genéticos não sejam elevados para a idade avaliada, estimulam a utilização desses germoplasmas e a continuidade das avaliações em idades mais avançadas, explorando-se a variabilidade dentro das progênies.

**Palavras-chave:** erva-mate; herdabilidade; ganho genético.

### ABSTRACT

The objective of this paper was to estimate genetic values and parameters for the traits height and diameter of erva-mate individuals using the methodology of mixing models (REML/BLUP procedure). The half-sib progenies were established at the Indigenous Reserve Kaiowá and Guarani, in Caarapó/MS, in a randomized block design, with six treatments, six replications and twenty plants per plot. Nine months after planting, height and diameter were evaluated. Genetic gain prediction of 4.16% for height and of 7.20% for diameter were obtained with selection of the best ten individuals. Although the genetic gain is not high for the evaluated age, it stimulate the use of these germoplasms in future evaluations at advanced ages, exploring the variability within progenies.

**Key words:** erva-mate; heritability; genetic gain.

### INTRODUÇÃO

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil), a espécie mais comum e utilizada do gênero, pertence à família Aquifoliaceae que apresenta cerca de seiscentas espécies. Destas, 220 são nativas da América do Sul, e 68 ocorrem no Brasil (Scherer, 1997; Sturion e Resende, 1997).

Os únicos países produtores de *Ilex paraguariensis* no mundo são o Brasil, a Argentina e o Paraguai. Nesses países, o cultivo dessa espécie tem grande importância socioeconômica, pois é realizado por um grande número de pequenos produtores e pelas próprias ervateiras.

O melhoramento genético da cultura é recente, tendo-se iniciado a partir de 1974 na Argentina, e na década de 1990, no Brasil. Basicamente três programas estão em desenvolvimento: o do Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária (INTA) na Argentina (Bellingheri e Prat Kricun, 1997), o da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) (Floss, 1997) e o da Empresa

1. Engenheiro Florestal, D.Sc., Professor da Universidade Católica Dom Bosco (UCDB), Programa de Mestrado em Desenvolvimento Local, Av. Tamandaré, 6000, Jardim Seminário, Caixa Postal 100, CEP 79117-100, Campo Grande (MS). rcosta@ucdb.br

2. Engenheiro Agrônomo, D.Sc., Pesquisador da Embrapa – Centro Nacional de Pesquisa de Florestas (CNPq), Caixa Postal 31, CEP 83411-000, Colombo (PR). deon@cnpf.embrapa.br

3. Biólogos, Mestrandos do Programa de Mestrado em Desenvolvimento Local, Universidade Católica Dom Bosco (UCDB), Av. Tamandaré, 6000, Jardim Seminário, Caixa Postal 100, CEP 79117-100, Campo Grande (MS).

4. Acadêmicos de Graduação do Curso de Biologia, Universidade Católica Dom Bosco (UCDB), Av. Tamandaré, 6000, Jardim Seminário, Caixa Postal 100, CEP 79117-100, Campo Grande (MS). Bolsistas PIBIC-UCDB/CNPq.

Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa (Sturion e Resende, 1997). De maneira geral, tais programas têm enfatizado as seguintes características silviculturais: adaptação, produção de massa verde, resistência a pragas e doenças, desfolhamento e tipo de ramificação ou arquitetura (Resende *et al.*, 2000). Em um futuro próximo, características associadas à qualidade dos produtos da erva-mate também deverão ser consideradas nos programas de melhoramento. Croce e De Nadal (1995) enfatizam que a erva-mate é, sem dúvida, promissora na busca de maximizar a rentabilidade em termos de produção e, ao mesmo tempo, preservar e/ou recuperar os recursos naturais. Dessa forma, o melhoramento genético da espécie poderá trazer benefícios ambientais e econômicos, servindo também de opção para sistemas agroflorestais.

A acurada predição de valores genéticos dos indivíduos candidatos à seleção torna-se essencial nos programas de melhoramento genético florestal. Nesse sentido, a metodologia de modelos lineares mistos (REML/BLUP) para dados desbalanceados, desenvolvida para o melhoramento de plantas perenes por Resende (2000), avaliando-se individualmente os candidatos à seleção, tem conduzido à maximização do ganho genético com seleção. A referida metodologia vem sendo aplicada com sucesso no melhoramento de diversas espécies perenes em experimentos instalados no campo com várias idades, tais como, para erva-mate (Simeão *et al.*, 2002), seringueira (Costa *et al.*, 1999; Costa *et al.*, 2000; Costa *et al.*, 2001 e Kalil *et al.*, 2000), cacau (Resende e Dias, 2000), acerola (Paiva *et al.*, 2002), pupunha (Farias Neto e Resende, 2001), dentre outros.

No caso específico de progênies de erva-mate, instaladas em área de ocorrência natural da espécie no estado de Mato Grosso do Sul, há um interesse expressivo da comunidade indígena do município de Caarapó em relação ao cultivo e exploração da espécie, tendo em vista o uso no cotidiano e o seu valor cultural.

Diante do exposto, o presente estudo objetivou estimar parâmetros e valores genéticos para os caracteres altura e diâmetro de indivíduos de erva-mate pela metodologia de modelos mistos (procedimento REML/BLUP). Tais estimativas visam a fazer uma prospecção que subsidiará o desenvolvimento do primeiro programa de melhoramento da espécie no estado de Mato Grosso do Sul.

## MATERIAL E MÉTODO

As mudas de erva-mate foram produzidas partindo de sementes coletadas de matrizes nativas de polinização aberta, no município de Caarapó, MS. Estabelecidas em forma de teste de progênie na Reserva Indígena Kaiowá e Guarani cuja área total perfaz 3600 hectares localizada na latitude 22°35'S e longitude 55°00'W. O clima é de savana com duas estações bem definidas: uma quente e úmida e outra mais fria e seca com um déficit hídrico. A pluviosidade média anual está em torno de 1599 mm.

O teste de progênie foi instalado sob delineamento de blocos ao acaso com seis tratamentos (progênies), seis repetições e vinte plantas por parcela em linhas simples, no espaçamento 3 x 2m. Aos 9 meses de idade, as progênies foram avaliadas quanto aos caracteres: a) altura total das mudas – determinada com auxílio de trena graduada e as medidas expressas em centímetros e, b) diâmetro do coleto – obtido utilizando-se paquímetro e expresso em milímetros.

As variáveis foram analisadas usando-se a metodologia de modelo linear misto (univariado aditivo) – REML/BLUP, seguindo-se o procedimento apresentado por Resende (2002), consistindo do seguinte:

$$y = Xb + Za + Wc + e$$

Em que: y, b, a, c, e = vetores de dados, dos efeitos de blocos (fixos), de efeitos genéticos aditivos (aleatório), de efeitos de parcela (aleatório) e de erros aleatórios respectivamente; X, Z, W = matrizes de incidência para b, a, c respectivamente.

**Distribuições e estruturas de médias e variâncias**

$$y|b, V \sim N(Xb, V)$$

$$a|A, \sigma_a^2 \sim N(0, A \sigma_a^2)$$

$$c|\sigma_c^2 \sim N(0, I \sigma_c^2)$$

$$e|\sigma_e^2 \sim N(0, I \sigma_e^2)$$

$$\text{Cov}(a, c') = 0; \quad \text{Cov}(a, e') = 0; \quad \text{Cov}(c, e') = 0$$

ou seja:

$$E \begin{bmatrix} y \\ a \\ c \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Xb \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad e \quad \text{Var} \begin{bmatrix} y \\ a \\ c \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V & ZG & WC & R \\ GZ & G & 0 & 0 \\ CW' & 0 & C & 0 \\ R & 0 & 0 & R \end{bmatrix}, \text{ em que:}$$

$$G = A \sigma_a^2$$

$$R = I \sigma_c^2$$

$$C = I \sigma_e^2$$

$$V = ZA \sigma_a^2 Z' + WI \sigma_c^2 W' + I \sigma_e^2 = ZGZ' + WCW' + R.$$

**Equações de modelo misto**

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z & X'W \\ Z'X & Z'Z + A^{-1}\lambda_1 & Z'W \\ W'X & W'Z & W'W + I\lambda_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{a} \\ \hat{c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \\ W'y \end{bmatrix}, \text{ em que:}$$

$$\lambda_1 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_a^2} = \frac{1 - h^2 - c^2}{h^2}; \quad \lambda_2 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_a^2} = \frac{1 - h^2 - c^2}{c^2}$$

$$h^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_a^2 + \sigma_c^2 + \sigma_e^2} = \text{herdabilidade individual no sentido restrito no bloco};$$

$$c^2 = \sigma_c^2 / (\sigma_a^2 + \sigma_c^2 + \sigma_e^2) = \text{correlação devida ao ambiente comum da parcela};$$

$$\sigma_a^2 = \text{variância genética aditiva};$$

$$\sigma_c^2 = \text{variância entre parcelas};$$

$$\sigma_e^2 = \text{variância residual (ambiente dentro de parcelas + não aditiva)};$$

A = matriz de correlação genética aditiva entre os indivíduos em avaliação.

As estimativas dos parâmetros genéticos foram obtidas pelo procedimento REML (restricted maximum likelihood) a partir de iterações nas equações de modelo misto.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados referentes às estimativas dos parâmetros genéticos para os caracteres altura e diâmetro das progênies são apresentados na Tabela 1.

O coeficiente de variação genética, que expressa em porcentagem da média geral a quantidade de variação genética existente, apresentou valores mais expressivos para o carácter diâmetro (62,1904), que para o carácter altura (14,0032). Verifica-se uma média variabilidade genética para o carácter altura e uma alta para o carácter diâmetro, o que pode ser atribuído à fase inicial de desenvolvimento do material genético. Tais inferências podem ser depreendidas com base nas estimativas do coeficiente de variação genética.

TABELA 1: Estimativas de parâmetros genéticos para os caracteres altura e diâmetro em progênes de erva-mate, no município de Caarapó, MS.

TABLE 1: Genetic parameters estimates for the traits height and diameter in erva-mate progenies at Caarapó, MS.

Estimativas <sup>1</sup>	Altura (cm)	Diâmetro (mm)
$(\hat{h}_a^2)$	0,0524	0,0401
$(\hat{h}_{mp}^2)$	0,5874	0,5410
$(\hat{\sigma}_a^2)$	45,6732	6,3364
$(\hat{\sigma}_{parc}^2)$	15,6768	1,9351
$(\hat{\sigma}_e^2)$	808,9272	149,4268
$(\hat{\sigma}_f^2)$	870,2774	157,6983
Média geral	48,2619	4,0476
(CV <sub>g</sub> %)	14,0032	62,1904
(CV <sub>e</sub> %)	15,52	35,53

Em que: <sup>1</sup> = Herdabilidade individual no sentido restrito no bloco ( $\hat{h}_a^2$ ), herdabilidade da média de progênie ( $\hat{h}_{mp}^2$ ), variância genética aditiva ( $\hat{\sigma}_a^2$ ), variância ambiental entre parcelas ( $\hat{\sigma}_{parc}^2$ ), variância residual dentro de parcela (ambiental + não-aditiva,  $\hat{\sigma}_e^2$ ), variância fenotípica individual ( $\hat{\sigma}_f^2$ ), coeficiente de variação genética (CV<sub>g</sub>%) e coeficiente de variação residual (ambiental + genética não-aditiva) dentro de parcelas (CV<sub>e</sub>%).

As herdabilidades individuais no sentido restrito foram de baixas magnitudes (0,0524 e 0,0401) para os dois caracteres. Tais estimativas apresentam magnitudes comparáveis àquelas relatadas em literatura (Resende *et al.*, 2000). No entanto, há que se ressaltarem os valores elevados da herdabilidade média de progênes para os dois caracteres, sugerindo alto progresso genético em resposta à seleção usando a informação das progênes.

Na Tabela 2, são apresentados os valores fenotípicos e genéticos aditivos dos dez melhores materiais para o caráter altura. Os indivíduos da progênie 2 demonstraram-se promissores, em relação ao valores genéticos. Os valores expressivos da acurácia seletiva (0,7826 e 0,7816) para altura e diâmetro, respectivamente, reforçam essa afirmação.

TABELA 2: Valores fenotípicos, genéticos aditivos dos dez melhores indivíduos e ganhos genéticos preditos para o caracter altura (cm), no Município de Caarapó, MS.

TABLE 2: Phenotypic and additive genetic values of the best ten individuals and predicted genetic gains for the trait height (cm) in erva-mate at Caarapó, MS.

Progênie	Árvore	Valores Fenotípicos	Valores Genotípicos (u + a)	Ganho Genético (%)
2	5	96,0	52,42	4,16
2	10	96,0	52,41	4,16
2	20	96,0	52,39	4,16
2	2	81,0	52,38	4,15
2	7	81,0	52,37	4,15
2	12	81,0	52,37	4,15
2	17	81,0	52,35	4,14
2	5	87,0	52,34	4,13
2	10	87,0	52,33	4,10
Acurácia seletiva				0,7826

Avaliações sucessivas poderão confirmar o desempenho dos referidos materiais genéticos. Ressalta-se que o método ideal de seleção, quanto à utilização das informações disponíveis, deve ser definido baseando-se na maximização da correlação entre o valor genético verdadeiro dos candidatos à seleção e o índice empregado para estimá-lo, ou seja, o método ideal é aquele que apresenta maior acurácia, no caso o BLUP.

Na Tabela 3, são apresentados os valores fenotípicos e genéticos aditivos dos dez melhores indivíduos para o carácter diâmetro.

TABELA 3: Valores fenotípicos, genéticos aditivos dos dez melhores indivíduos e ganhos genéticos preditos para o carácter diâmetro (mm), no Município de Caarapó, MS.

TABLE 3: Phenotypic and additive genetic values of the best ten individuals and predicted genetic gains for the trait diameter (mm) in erva-mate at Caarapó, MS.

Progênes	Árvore	Valores Fenotípicos	Valores Genéticos (u + a)	Ganho Genético (%)
1	5	90,00	7,20	7,20
1	10	90,00	7,19	7,20
1	15	90,00	7,18	7,20
1	20	90,00	7,17	7,20
3	5	90,00	6,56	7,08
3	10	90,00	6,55	6,99
3	15	90,00	6,54	6,93
3	20	90,00	6,53	6,88
1	4	50,00	6,52	6,84
1	9	50,00	6,51	6,81
Acurácia seletiva				0,7816

Observa-se que as progênes 1 e 3 destacaram-se como os melhores materiais para o carácter em estudo. De forma similar ao carácter altura, avaliações posteriores em idades mais avançadas poderão confirmar o desempenho desses materiais para o efeito de seleção, visando maximizar o ganho genético.

Em termos de progresso genético, cabe salientar que o sucesso do programa prático do melhoramento de espécies perenes depende, entre outros aspectos, do conhecimento do germoplasma disponível para a obtenção de tal produto, notadamente da variação biológica entre espécies no gênero, entre populações, dentro de espécies e indivíduos. Nesse contexto, a estimação de parâmetros e a avaliação genética de indivíduos são essenciais nas várias etapas do programa de melhoramento.

## CONCLUSÕES

A avaliação do desenvolvimento inicial das progênes de erva-mate da região de Caarapó, MS, estimula o estabelecimento de um programa de melhoramento genético com germoplasma nativo, embora haja necessidade de ampliação da base genética.

Embora os ganhos genéticos não sejam elevados para a idade avaliada sugerem a utilização desses germoplasmas e a continuidade das avaliações em idades mais avançadas, explorando-se a variabilidade dos indivíduos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos membros da comunidade indígena de Caarapó, MS pelas informações sobre a erva-mate nativa da região e às instituições CAPES, CNPq e UCDB pelas bolsas concedidas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BELINGHERI, L.D.; PRAT KRICUN. Programa de mejoramiento genético de la yerba mate en el INTA. 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-CNPQ, 1997. 467p. (EMBRAPA--CNPQ, Documentos, 33).

- COSTA, R.B.; RESENDE, M.D.V.; ARAUJO, A. J.; GONÇALVES, P. de S. BLUP individual e índice multi-efeito aplicados ao melhoramento da seringueira. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS GENÉTICOS PARA AMÉRICA LATINA E CARIBE – SIRGEALC, 2, 1999, Brasília. **Anais...** Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 1999. 1CD-ROM.
- COSTA, R.B.; RESENDE, M.D.V.; GONÇALVES, P. de S. Selection and genetic gain in populations of *Hevea brasiliensis* with a mixed mating system. **Genetic and Molecular Biology**, v. 23, n. 3, p. 671-679, 2000.
- COSTA, R.B.; RESENDE, M.D.V.; FERREIRA, M. S.; SILVA FERREIRA, J. Estimação de parâmetros genéticos e predição de valores genotípicos para o caráter germinação e leucena pelo procedimento REML/BLUP. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Colombo, n. 7, p. 20, 2001.
- CROCE, D. M.; De NADAL, R. Viabilidade técnico-econômica de sistemas de produção de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) consorciada com culturas anuais. In: WINGE, H. *et. al* (Orgs.). **Erva-Mate: biologia e cultura no Cone Sul**. Porto Alegre: Ed. Universidade, 1995.
- FARIAS NETO, J. T; RESENDE, M. D. V. de. Aplicação da metodologia de modelos mistos (REML/BLUP) na estimação de componentes de variância e predição de valores genéticos em pupunheira (*Bactris gasipaes* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 23, n. 2, p. 320-324, 2001.
- FLOSS, 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.
- KALIL FILHO, A N.; RESENDE, M.D.V. ; KALIL, G.P.C. Componentes de variância e predição de valores genéticos em seringueira pela metodologia de modelos mistos (REML/BLUP). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 9, p. 1883-1887, 2000.
- PAIVA, J. R. ; RESENDE, M. D. V. ; CORDEIRO, E. R. Índice multi-efeitos (BLUP) e estimativas de parâmetros genéticos aplicados ao melhoramento da acerola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 6, p. 799-807, 2002.
- RESENDE, M.D.V.; FERNANDES, J.S.C. Procedimento BLUP (Melhor Predição Linear Não Viciada) individual para delineamentos experimentais aplicados ao melhoramento florestal. **Revista. de Matemática e Estatística.**, São Paulo, n. 17, p. 89-107, 1999.
- RESENDE, M.D.V. **Análise estatística de modelos mistos via REML/BLUP na experimentação em melhoramento de plantas perenes**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 101p. (Documentos, 47).
- RESENDE, M.D.V.; DIAS, L. A. S. Aplicação da metodologia de modelos mistos (REML/BLUP) na estimação de parâmetros genéticos e predição de valores genéticos aditivos e genotípicos em espécies frutíferas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 22, n. 1, p. 44-52, 2000.
- RESENDE, M.D.V.; 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, progênes, indivíduos e clones. **Circular Técnica**, Colombo, n. 43, 2000.
- RESENDE, M.D.V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica., 2002. 975p.
- SCHERER, R.A. **Early selection of yerba mate** (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). Bonn: Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität, 1997. 58p.
- SIMEAO, R. M.; STURION, J. A.; RESENDE, M. D. V; FERNÁNDEZ, J.S.C.; NEIVERTH, D.D.; ULBRICH, A.L. Avaliação genética em erva-mate pelo procedimento BLUP individual multivariado sob interação genótipo x ambiente. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 11, p. 1589-1596, 2002.
- STURION, J.A.; RESENDE, M.D.V. de. Programa de melhoramento genético da erva-mate no Centro Nacional de Pesquisa de Florestas da Embrapa. 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. 467p. (EMBRAPA-CNPf, Documentos, 33).