

# Seleção Clonal em Guaranazeiro via Metodologia de Modelos Lineares Mistos (REML/BLUP)

A. L. Atroch<sup>1</sup>; M. D. V. de Resende<sup>2</sup>; F. J. do Nascimento Filho<sup>1</sup>

## Introdução

O guaranazeiro (*Paulinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke) é uma espécie de grande importância econômica, social e ecológica na Amazônia. O nome guaraná é de origem tupi e significa "bebida dos senhores" (Monteiro, 1965). Duas variedades botânicas foram descritas por Ducke (1937): *P. cupana* var. *sorbilis* e *P. cupana* var. *typica*. A primeira foi domesticada pelos indígenas na região do Baixo Rio Amazonas e é cultivada, enquanto a variedade botânica *typica* foi observada em populações espontâneas ao Sul da Venezuela e Colômbia e é denominada guaraná da Venezuela (Nascimento Filho et al., 2001a).

O guaraná possui propriedades medicinais e estimulantes e é considerada a maior fonte natural de cafeína. O Brasil é praticamente o único produtor mundial de guaraná e atende aos mercados nacional e estrangeiro. A área de cultivo do guaranazeiro já ultrapassou a fronteira da Amazônia. É plantado comercialmente nos Estados do Amazonas, Acre, Pará, Rondônia, Roraima, Bahia e Mato Grosso e experimentalmente no Amapá (Nascimento Filho et al., 2001a). É uma espécie com sistema reprodutivo misto, predominando os cruzamentos, com uma considerável taxa de autofecundação (Escobar et al., 1985).

O programa de melhoramento genético do guaranazeiro conduzido pela Embrapa Amazônia Ocidental iniciou-se em 1976 com a seleção fenotípica de matrizes seguida de teste de progênies, realização de cruzamentos biparentais e de autofecundação seguida da avaliação das respectivas progênies em Manaus, Maués e em áreas de produtores. A partir do início da década de 1980, os trabalhos foram direcionados para clonagem por meio de estaquia de plantas superiores provenientes de experimentos de avaliação de progênies e matrizes selecionadas em plantios comerciais nas áreas de produtores (Nascimento Filho et al., 2000; Atroch e Nascimento Filho, 2001).

---

<sup>1</sup>Pesquisador da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus-AM, andre.atroch@cpaa.embrapa.br

<sup>2</sup>Pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo-PR.

Com o domínio da técnica da clonagem vegetal, o programa de melhoramento da espécie apresentou grande avanço, fato que permitiu a geração de diversos clones, os quais foram avaliados em vários locais no Estado do Amazonas, no período de 1985 a 1994. Os experimentos foram instalados com genótipos diferentes de um ano para outro e com algumas testemunhas comuns. A seleção clonal baseada em procedimento biométrico inadequado pode ser ineficiente devido ao confundimento entre efeitos genotípicos e ambientais (ano e local de plantio). Nesta situação, o procedimento ótimo de seleção é o REML/BLUP que envolve a estimação de componentes de variância pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML) e a predição dos valores genotípicos pela melhor predição linear não viciada (Resende, 2002). Este procedimento vem sendo aplicado ao melhoramento de espécies florestais (Resende et al., 1993; 1996) e de fruteiras (Resende & Dias, 2000; Farias Neto & Resende, 2001; Paiva et al., 2001; 2002) no Brasil.

O presente trabalho teve como objetivos realizar a estimação de parâmetros genéticos e a seleção clonal no contexto do programa de melhoramento do guaranazeiro conduzido pela Embrapa Amazônia Ocidental, empregando o procedimento REML/BLUP.

## **Material e Métodos**

### **Caracterização dos ensaios**

Os dados analisados neste trabalho foram coletados dos experimentos conduzidos nos Campos Experimentais da Embrapa Amazônia Ocidental em Manaus e Maués (AM), cujas coordenadas geográficas e altitudes são apresentadas na Tabela 1. Os solos dos Campos Experimentais de Manaus e Maués são do tipo Latossolo Amarelo Muito Argiloso, considerado como de baixa fertilidade natural. Os locais de condução, códigos dos ensaios, números e anos de plantio, de avaliação e de clones por experimento são apresentados na Tabela 2.

Foram avaliados 231 clones de guaranazeiro, em 13 experimentos, no período de 1985 a 1994.

O plantio dos ensaios foi realizado no início das chuvas, ou seja, de dezembro a março de cada ano agrícola. As estacas oriundas de ramos semilenhosos, utilizadas para a formação das mudas, foram provenientes de plantas matrizes sadias, com bom vigor vegetativo e de alta produção.

**Tabela 1.** Altitude, latitude e longitude dos locais onde foram conduzidos os ensaios. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, 2002.

Local	Altitude (m)	Latitude (Sul)	Longitude (Oeste)
Manaus	50	3°8'	59°52'
Maués	18	3°20'	57°32'

**Tabela 2.** Nomes, locais de condução, anos de plantio, número de anos de avaliação e número de clones componentes dos ensaios de competição de clones de guaranazeiro conduzidos pela Embrapa Amazônia Ocidental, no período de 1985 a 1994, no Estado do Amazonas. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, 2002.

Ensaio	Local de Condução	Ano de plantio	Número de anos de avaliação	Número de clones
ME83-10	Campo Experimental do Km 30	1983	9	7
ME83-14	Campo Experimental do Km 30	1983	8	11
ME84-06	Campo Experimental do Km 30	1984	8	26
ME84-12	Campo Experimental de Maués	1984	6	15
ME84-13	Campo Experimental de Maués	1984	6	16
ME84-14	Campo Experimental de Maués	1984	7	10
ME85-05	Fazenda Santa Helena (Grupo Antarctica - Maués-AM)	1985	5	16
ME85-06	Campo Experimental de Manaus	1985	5	15
ME85-07	Campo Experimental de Manaus	1985	9	16
ME85-08	Campo Experimental de Manaus	1985	5	5
ME87-01	Fazenda Santa Helena (Grupo Antarctica - Maués-AM)	1987	6	57
ME87-02	Fazenda Santa Helena (Grupo Antarctica - Maués-AM)	1987	5	21
ME87-03	Campo Experimental do Km 30	1987	4	105

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com três ou quatro repetições, dependendo do ensaio. Os espaçamentos utilizados nos experimentos foram 6 x 4 m x 5 m, com cinco a seis plantas por parcela. Os tratos culturais foram os usuais da cultura, recomendados no sistema de produção, tendo o objetivo de manter as plantas livres de pragas e da competição com plantas daninhas. Foi avaliada a característica produção de frutos frescos (g/planta).

## Metodologia Estatística

O procedimento de avaliação de clones no contexto do programa de melhoramento do guaranazeiro encontra-se descrito a seguir com base em Resende (2002). O modelo linear misto equivale a:  $y = Xb + Za + Wc + Tp + e$ , em que:  $y$ ,  $b$ ,  $a$ ,  $c$ ,  $p$  e  $e$ : vetores de observações, de efeitos de bloco (fixo), de valores genotípicos (aleatórios), de efeitos de parcela (aleatório), de efeitos permanentes (aleatório) e de erros aleatórios, respectivamente.  $X$ ,  $Z$ ,  $W$  e  $T$ : matrizes de incidência para  $b$ ,  $a$  e  $c$ , respectivamente. Os efeitos fixos de blocos, medições e interação blocos x medições, podem ser ajustados em apenas um efeito fixo denominado combinação bloco-medição.

### Distribuições e estruturas de médias e variâncias

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

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

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

$$p|\sigma_p^2 \sim N(0, I \sigma_p^2)$$

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

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

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

$$E \begin{bmatrix} y \\ a \\ c \\ p \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Xb \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad \text{Var} \begin{bmatrix} y \\ a \\ c \\ p \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V & ZG & WC & TP & R \\ GZ' & G & 0 & 0 & 0 \\ CW' & 0 & C & 0 & 0 \\ PT' & 0 & 0 & P & 0 \\ R & 0 & 0 & 0 & R \end{bmatrix}$$

em que:

$$P = I \sigma_p^2$$

$$V = ZA \sigma_a^2 Z' + WI \sigma_c^2 W' + TI \sigma_p^2 T' + I \sigma_e^2.$$

Equações de modelo misto

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z & X'W & X'T \\ Z'X & Z'Z + A^{-1}\lambda_1 & Z'W & Z'T \\ W'X & W'Z & W'W + \Omega_2 & W'T \\ T'X & T'Z & T'W & T'T + \Omega_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{a} \\ \hat{c} \\ \hat{p} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \\ W'y \\ T'y \end{bmatrix}$$

em que:

$$\lambda_1 = \frac{1-\rho}{h^2} = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_a^2}; \quad \lambda_2 = \frac{1-\rho}{c^2} = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_c^2}; \quad \lambda_3 = \frac{1-\rho}{p^2} = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_p^2}.$$

$$h^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_a^2 + \sigma_c^2 + \sigma_p^2 + \sigma_e^2} : \text{herdabilidade individual no sentido amplo no bloco em uma medição;}$$

$$\rho = \frac{\sigma_a^2 + \sigma_c^2 + \sigma_p^2}{\sigma_a^2 + \sigma_c^2 + \sigma_p^2 + \sigma_e^2} : \text{repetibilidade individual no bloco;}$$

$$p^2 = \frac{\sigma_p^2}{\sigma_a^2 + \sigma_c^2 + \sigma_p^2 + \sigma_e^2} : \text{coeficiente de determinação dos efeitos permanentes;}$$

$$c^2 = \frac{\sigma_c^2}{\sigma_a^2 + \sigma_c^2 + \sigma_p^2 + \sigma_e^2} : \text{correlação devida ao ambiente comum da parcela.}$$

Estimadores iterativos dos componentes de variância via REML:

$$\hat{\sigma}_e^2 = [y'y - \hat{b}' X'y - \hat{a}' Z'y - \hat{c}' W'y - \hat{p}' T'y] / [N - r(x)]$$

$$\hat{\sigma}_a^2 = [\hat{a}' A^{-1} \hat{a} + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr} (A^{-1} C^{22})] / q$$

$$\hat{\sigma}_c^2 = [\hat{c}' c + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr} C^{33}] / s$$

$$\hat{\sigma}_p^2 = [\hat{p}' \hat{p} + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr} C^{44}] / q \quad \text{em que:}$$

$C^{22}$ ,  $C^{33}$  and  $C^{44}$  advém de:

$$C^{-1} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} \\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} C^{11} & C^{12} & C^{13} & C^{14} \\ C^{21} & C^{22} & C^{23} & C^{24} \\ C^{31} & C^{32} & C^{33} & C^{34} \\ C^{41} & C^{42} & C^{43} & C^{44} \end{bmatrix}$$

Dada a estrutura dos dados, a avaliação genética no guaranzeiro requer a análise conjunta dos parâmetros herdabilidade e repetibilidade, por ocasião da predição dos valores genotípicos.

## Resultados e Discussão

Os resultados referentes à avaliação simultânea dos experimentos para o caráter produção de frutos frescos são apresentados na Tabela 3. Foram detectadas baixas magnitudes para herdabilidade individual no sentido amplo e repetibilidade individual ao nível de um ramete em uma safra (Tabela 3). Entretanto, a seleção clonal deve ser baseada em valores genotípicos preditos em função da média de clone em várias safras, várias repetições e vários rames. Neste caso, a herdabilidade e acurácia associadas à seleção clonal apresentaram magnitudes da ordem de 0,58 e 0,76, as quais são adequadas e propiciam a seleção.

**Tabela 3.** Estimativas de componentes de variância e parâmetros genéticos para o caráter produção de frutos secos em guaranazeiro, a partir de testes clonais (13 experimentos) nos Municípios de Maués-AM e Manaus-AM. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, 2002.

Parâmetro	Estimativa
Média Geral	4.828,09 g/planta
Variância genotípica entre clones	2.084.705,742
Variância ambiental entre parcelas	0,6233
Variância ambiental dentro de parcelas	29.360.235,29
Variância de ambiente permanente	3.493.845,75
Herdabilidade individual no sentido amplo	0,06
Repetibilidade individual	0,16
Coeficiente de determinação de ambiente permanente	0,10
Coeficiente de determinação dos efeitos de parcela	0,00
Herdabilidade da média de clone*	0,58
Acurácia na seleção de clones*	0,76

\*Baseada em três repetições, cinco plantas por parcela e seis safras por ramete.

As magnitudes relativamente baixas da herdabilidade e da repetibilidade estão de acordo com os resultados obtidos por Nascimento Filho et al. (2001b), via análise multivariada, os quais revelaram que a divergência genética entre os clones avaliados não é de grande magnitude. A repetibilidade de baixa magnitude concorda com os relatos de Nascimento Filho et al. (2000) sobre a significativa interação clones x anos para o mesmo caráter, indicando que o comportamento de clones não é consistente de um ano para outro. Assim, é necessário avaliar os clones por mais de um ano ou safra para que a seleção seja efetiva. A repetibilidade  $\rho_m$  da média (de todos os rames em todas as repetições) de clone em uma safra equivaleu a 0,54. Com base nesse valor e na expressão  $\{m/[1 + (m-1) \rho_m]\}^{1/2}$ , têm-se as seguintes eficiências da seleção com base em m safras em relação à seleção clonal

usando uma só safra: 1,14; 1,20; 1,24; 1,26 e 1,27, para valores de m iguais a 2, 3, 4, 5 e 6 safras, respectivamente. Assim, mantendo-se o mesmo número ( $n \cdot b = 15$ ) de rametes por clone, recomenda-se a avaliação dos clones durante cinco safras, visando a maximização da acurácia seletiva. A baixa magnitude do coeficiente de determinação dos efeitos de parcela revela que parcelas de uma planta podem ser utilizadas com eficiência no melhoramento do guaranazeiro.

Empregando outros acessos, estimativas de maiores magnitudes foram obtidas para os parâmetros herdabilidade no sentido amplo e repetibilidade em outros caracteres do guaranazeiro. Escobar (1986) obteve as estimativas de 0,33; 0,33 e 0,31 para a herdabilidade individual no sentido amplo dos caracteres número de folhas, comprimento do ramo e número de ramos, respectivamente. Valois et al. (1979) obtiveram as estimativas de 0,77; 0,74; 0,66 e 0,74 para a repetibilidade individual dos caracteres tamanho da inflorescência, número de botões, número de frutos e número de sementes, respectivamente. Os valores genotípicos preditos associados aos 15 melhores clones encontram-se na Tabela 4.

**Tabela 4.** Valores genotípicos preditos (VG) dos 15 melhores clones de guaranazeiro avaliados em Maués e Manaus (Amazonas), bem como estimativas de parâmetros associados: média geral ( $\mu$ ), efeito genotípico (g), números de blocos (b), de rametes por parcela (n) e de safras (m), coeficientes de determinação dos efeitos de parcela ( $c_1^2$ ), de ambiente permanente ( $c_2^2$ ), herdabilidade individual no sentido restrito ( $h_1^2$ ), repetibilidade individual ( $h_{mc}^2$ ), herdabilidade da média de clone ( $r_1$ ) e acurácia seletiva (acurácia).

Clone	$\mu$	g	VG	b	N	m	$c_1^2$	$c_2^2$	$h_1^2$	$r_1$	$h_{mc}^2$	Acurácia
850	4828,09	3382,77	8210,86	3	2	10	0	0,1	0,06	0,16	0,56	0,75
838	4828,09	3369,06	8197,15	3	3	4	0	0,1	0,06	0,16	0,50	0,71
831	4828,09	3.248,85	8076,94	3	2	4	0	0,1	0,06	0,16	0,45	0,67
871	4828,09	3067,20	7.895,29	3	2	10	0	0,1	0,06	0,16	0,56	0,75
300	4828,09	2940,75	7768,84	3	2	12	0	0,1	0,06	0,16	0,58	0,76
604	4828,09	2802,58	7630,67	3	3	5	0	0,1	0,06	0,16	0,53	0,73
882	4828,09	2249,49	7077,58	3	5	6	0	0,1	0,06	0,16	0,58	0,76
861	4828,09	2447,76	7075,85	3	2	10	0	0,1	0,06	0,16	0,56	0,75
691	4828,09	2123,89	6951,98	3	1	10	0	0,1	0,06	0,16	0,52	0,72
358	4828,09	2097,63	6925,72	3	4	8	0	0,1	0,06	0,16	0,59	0,77
849	4828,09	1966,73	6794,82	3	2	10	0	0,1	0,06	0,16	0,56	0,75
426	4828,09	1927,48	6755,57	3	3	8	0	0,1	0,06	0,16	0,58	0,76
196	4828,09	1892,26	6720,35	3	3	7	0	0,1	0,06	0,16	0,56	0,75
805	4828,09	1845,55	6673,64	3	2	4	0	0,1	0,06	0,16	0,49	0,70
815	4828,09	1826,62	6654,71	3	1	10	0	0,1	0,06	0,16	0,52	0,72

De maneira geral, notou-se diferença entre os clones selecionados (metodologia REML/BLUP) e aqueles selecionados pela metodologia tradicional (Atroch et al., 2001). Deve-se ter preferência ao ordenamento de clones apresentado neste trabalho, em função da superioridade da

metodologia empregada. Ganhos genéticos da ordem de 61% a 70% poderão ser obtidos com seleção e utilização dos cinco melhores clones em plantios comerciais. A análise realizada permitiu a seleção de clones com alta produtividade de frutos, que é o principal caráter de importância econômica.

### Literatura Consultada

ATROCH, A.L.; NASCIMENTO FILHO, F.J. Avaliação do programa de melhoramento genético de guaranazeiro via seleção clonal. In.: **Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas**, 1. Goiânia: Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas, 2001. Disponível em CD.

DUCKE, A. Diversidades dos guaranás. **Rodriguésia**, v.3, n.10, p.155-156, 1937.

ESCOBAR, J.R. Estimativa de variação do número de flores femininas efetivas do guaranazeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.20, n.12, p.1365-1371, 1985.

ESCOBAR, J. R. Herdabilidade de alguns caracteres da fase juvenil de clones de guaraná (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*). In: SIMPÓSIO DO TRÓPICO ÚMIDO, 1., 1984, Belem. **Anais...** Belém: CPATU, 1986. p.285-293. (EMBRAPA-CPATU. Documentos, 36).

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.

MONTEIRO, M.Y. Antropogeografia do guaraná. **Cadernos da Amazônia**, Manaus: INPA, v.6, p.1-84, 1965.

NASCIMENTO FILHO, F.J. do; ATROCH, A.L.; CRAVO, M. da S. **Melhoramento genético do guaranazeiro; resultados de ensaios de avaliação de clones; fase produtiva 1985 a 1994**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2000. 54p. (Embrapa Amazônia Ocidental, Boletim de Pesquisa, 7).

NASCIMENTO FILHO, F.J. do; GARCIA, T.B.; SOUZA, A.G.C.; SOUSA, N.R.; ATROCH, A.L. Recursos genéticos de guaraná. In: SOUSA, N.R.; SOUZA, A. das G.C. (Ed.). **Recursos fitogenéticos na Amazônia Ocidental: conservação, pesquisa e utilização**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2001a. p.128-141.

NASCIMENTO FILHO, F.J. do; ATROCH, A.L.; SOUSA, N.R.; GARCIA, T.B.; CRAVO, M. da S.; COUTINHO, E.F. **Divergência genética entre clones de guaranazeiro.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.36, n.3, p.501-506, 2001b.

PAIVA, J. R. de; RESENDE, M. D. V. de; CORDEIRO, E. R. Avaliação do número de colheitas na produção de progênies de acerola, repetibilidade e herdabilidade de caracteres. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 23, n.1, p. 102-107, 2001.

PAIVA, J. R. de; RESENDE, M. D. V. de; 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. de. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 975p.

RESENDE, M. D. V. de; HIGA, A. R.; LAVORANTI, O. J. Predição de valores genéticos no melhoramento de *Eucalyptus* melhor predição linear. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. *Anais...*, Curitiba: SBS, 1993. p. 144-147.

RESENDE, M. D. V. de; PRATES, D. F.; JESUS, A.; YAMADA, C. K. Estimacão de componentes de variância e predição de valores genéticos pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML) e melhor predição linear não viciada (BLUP) em *Pinus*. *Boletim de Pesquisa Florestal*, Colombo, n. 32/33, p. 18-45, jan./dez. 1996.

RESENDE, M. D. V. de; DIAS, L. A. S. Aplicação da metodologia de modelos mistos (REML/BLUP) na estimacão de parâmetros genéticos e predição de valores genéticos em espécies frutíferas. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 22, n. 1, p. 44 52, 2000.

VALOIS, A. C. C.; CORREA, M. P. F.; VASCONCELLOS, M. E. C. **Estudos de caracteres correlacionados com a produção de amêndoa seca no guaranazeiro.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 14, n. 2, p. 175-179, 1979.