

REPETIBILIDADE DE CARACTERES DE PRODUÇÃO E PORTE DA PLANTA EM CLONES DE CAJUEIRO-ANÃO PRECOCE¹

JOSÉ JAIME VASCONCELOS CAVALCANTI², JOÃO RODRIGUES DE PAIVA³, LEVI DE MOURA BARROS³,
JOÃO RIBEIRO CRISÓSTOMO³ e MARIA PINHEIRO FERNANDES CORRÊA³

RESUMO - Os objetivos deste trabalho foram estimar coeficientes de repetibilidade (r), comparar a eficiência das metodologias utilizadas no processo de estimação, e determinar o número de avaliações necessárias à seleção clonal de cajueiro-anão (*Anacardium occidentale* L.) precoce. As metodologias aplicadas para estimação do coeficiente de repetibilidade constaram da análise de variância, na qual o efeito temporário do ambiente é removido do erro (ANOVA); de análise dos componentes principais obtidos da matriz de correlações (CPCOR) e da matriz de variâncias e covariâncias fenotípicas (CPCOV); e da análise estrutural, com base no autovalor teórico da matriz de correlações ou correlação média (AECOR). Foram avaliados, em trinta clones, os caracteres altura da planta (AP), diâmetro da copa (DC) e produção de castanha (PC), durante cinco anos. Verificou-se que em relação aos caracteres AP e DC os valores de r variaram de 0,85 (ANOVA) a 0,96 (CPCOV). Quanto à produção, os valores de r foram de 0,51 (ANOVA) a 0,88 (CPCOV). Desta forma, constatou-se que o método de componentes principais utilizando a matriz de variâncias e covariâncias fenotípicas é mais eficiente para estimação do coeficiente de repetibilidade, sobretudo no que se refere ao caráter produção de castanha. Observou-se que são suficientes duas medições da AP e do DC, e três medições da PC no processo seletivo.

Termos para indexação: *Anacardium occidentale*, melhoramento genético de planta, seleção clonal, seleção precoce.

REPEATABILITY OF YIELD AND PLANT CHARACTERISTICS IN DWARF CASHEW CLONES

ABSTRACT - This work was carried out to estimate the repeatability coefficient, to compare the efficiency of methodologies used in the estimation process, as well as to determine the number of evaluations for selecting dwarf cashew (*Anacardium occidentale* L.) clones. The methodologies used to estimate the coefficient of repeatability were: analysis of variance in which the temporary effect is removed from the error (ANOVA); analysis of the principal components obtained from both the correlation matrix (PCCOR) and the covariance and phenotypic variance matrix (PCCOV); and the structural analysis based on the theoretic eigenvalue of the correlation matrix or mean correlation (EVCOR). Characters such as plant height (PH), canopy diameter (CD) and nut yield (NY) from 30 clones were evaluated during five years. The r value for PH and CD varied from 0.85 (ANOVA) to 0.96 (PCCOV). The yield r values varied from 0.51 (ANOVA) to 0.88 (PCCOV). Therefore, it was admitted that the principal components method employing the covariance and phenotypic variance matrix is the most efficient to dwarf cashew clonal selection, mainly in relation to yield. It was also concluded that two evaluations of both characters PH and CD, and three evaluations of NY are sufficient in the selective process.

Index terms: *Anacardium occidentale*, plant breeding, clone selection, precocious selection.

INTRODUÇÃO

O problema mais significativo da cajucultura na região Nordeste do Brasil tem sido a baixa produtividade dos pomares – atualmente, menos de 220 kg ha⁻¹ de castanha (Pessoa et al., 1995) –, ra-

¹ Aceito para publicação em 14 de junho de 1999.

² Eng. Agrôn., M.Sc., Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Agroindústria Tropical (CNPAT), Caixa Postal 3761, CEP 60511-110 Fortaleza, CE. E-mail: jaime@cnpat.embrapa.br

³ Eng. Agrôn., Dr., Embrapa-CNPAT.

ção pela qual é dada prioridade à obtenção e avaliação de cultivares. A seleção de clones, que é uma etapa do melhoramento de plantas de propagação vegetativa, vem recebendo muita atenção, por apresentar-se como metodologia mais simples, tendo possibilitado expressivos ganhos (Barros & Crisóstomo, 1995). Entretanto, o número de avaliações necessárias para os caracteres de produção e de porte das plantas, no processo seletivo, ainda se encontra indefinido.

Na escolha de um genótipo espera-se que seu desempenho inicial persista durante toda a sua vida. A veracidade desta expectativa pode ser comprovada pelo coeficiente de repetibilidade da característica estudada. O conceito de repetibilidade pode ser enunciado como sendo a correlação entre as medidas de determinado caráter em um mesmo indivíduo, cujas avaliações foram repetidas no tempo ou no espaço. Ela expressa a proporção da variância total que é explicada pelas variações proporcionadas pelo genótipo e pelas alterações permanentes atribuídas ao ambiente comum (Cruz & Regazzi, 1994).

Vencovsky (1973) relata que o coeficiente de repetibilidade é utilizado em plantas perenes no estudo de caracteres que se expressam mais de uma vez no decorrer da sua vida. Baseia-se na tomada de mais de uma observação fenotípica de cada indivíduo sem utilizar progênies, com a finalidade de medir a capacidade que os organismos têm de repetir a expressão do caráter, que, de acordo com Falconer (1981), representa o limite superior do coeficiente de herdabilidade (h^2) e permite estimar quantas observações fenotípicas devem ser feitas em cada indivíduo para que a seleção seja realizada com eficiência e com um mínimo de trabalho, sendo bem mais simples de ser estimado, pois h^2 exige cruzamentos controlados e estudo de progênies. Quando a variância proporcionada pelos efeitos permanentes do ambiente é minimizada, a repetibilidade aproxima-se da estimativa da herdabilidade no sentido amplo (Cruz & Regazzi, 1994).

O método mais empregado para estimar o coeficiente de repetibilidade tem sido baseado nos componentes da análise de variância. No entanto, métodos multivariados, utilizando componentes principais, têm sido propostos por Abeywardena

(1972) e Rutledge (1974), que consideram algumas situações em relação à periodicidade dos genótipos para determinados caracteres.

Objetivou-se, neste trabalho, estimar o coeficiente de repetibilidade, por meio de métodos multivariados e da análise de variância de alguns caracteres de clones de cajueiro-anão precoce; comparar os diferentes métodos utilizados quanto à sua eficiência no processo de estimação da repetibilidade desses caracteres; e determinar o número de avaliações adequado para um eficiente processo seletivo.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Campo Experimental de Pacajus, da Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Agroindústria Tropical (CNPAT), localizado no município de Pacajus, CE. As coordenadas geográficas são 4°10' S e 38°27' O, com altitude de 60 m.

Foram utilizados dados de um experimento instalado em abril de 1990, em delineamento de blocos ao acaso com 30 clones de cajueiro-anão precoce, com quatro repetições, quatro plantas por parcela, plantadas em espaçamento de 7 m x 7 m. Os dados referentes às análises foram obtidos da média de 16 indivíduos por clone, não considerando a estrutura de blocos. Foram avaliados os caracteres altura da planta, em metros, diâmetro da copa, em metros, e produção de castanha, em kg planta⁻¹, durante cinco anos, compreendendo do segundo ao sexto ano de idade das plantas.

As metodologias aplicadas para estimação do coeficiente de repetibilidade constaram da utilização da análise de variância, na qual o efeito temporário do ambiente é removido do erro, conforme Cruz & Regazzi (1994), análise dos componentes principais obtidos da matriz de correlações e da matriz de variâncias e covariâncias fenotípicas (Abeywardena, 1972; Rutledge, 1974), e utilização também da análise estrutural com base no autovalor teórico da matriz de correlações ou correlação média (Mansour et al., 1981).

O modelo estatístico utilizado para a análise de variância foi $Y_{ij} = u + g_i + a_j + \epsilon_{ij}$, em que: Y_{ij} : observação referente ao i -ésimo clone na j -ésima idade; u : média geral; g_i : efeito do i -ésimo clone sob influência do ambiente permanente ($i = 1, 2, \dots, p$); a_j : efeito fixo da idade na j -ésima medição ($j = 1, 2, \dots, \eta$); ϵ_{ij} : erro experimental estabelecido pelos efeitos temporários da idade na j -ésima medição do i -ésimo clone.

O esquema da análise de variância encontra-se representado na Tabela 1 e os estimadores do coeficiente de repetibilidade são apresentados na Tabela 2.

A estimativa do número de medições foi fornecida pela seguinte expressão (Cruz & Regazzi, 1994):

$$\eta_o = \frac{R^2 (1-r)}{(1 - R^2)r}$$

onde: η_o : número de medições necessárias para se ter um determinado nível de precisão, na comparação entre genótipos, para uma dada característica cujo coeficiente de repetibilidade é conhecido; R^2 : coeficiente de determinação ou grau de precisão do método; r : coeficiente de repetibilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 encontram-se os resultados referentes às estimativas do coeficiente de repetibilidade e seus respectivos coeficientes de determinação. Observa-se, quanto aos caracteres altura da planta e diâmetro da copa, que os valores de r variaram de

0,85 (ANOVA) a 0,96 (CPCOV), com coeficientes de determinação (R^2) superiores a 92%, o que demonstra uma alta regularidade na repetição do caráter de uma avaliação para outra, sendo possível a predição do real valor dos indivíduos com poucas avaliações e um nível de precisão significativo.

Por outro lado, quanto ao caráter produção, ocorreram as maiores diferenças nas estimativas de r entre os métodos em estudo, apresentando valores de 0,51 (ANOVA) a 0,88 (CPCOV). A produção geralmente sofre grande influência do ambiente, pronunciando-se de forma oscilante. Em avaliações em que ocorre o fator periodicidade, as medidas são afetadas por algumas mudanças regulares, irregulares ou sistemáticas de ordem fisiológica que ocorrem nos organismos. Como este efeito pode variar de maneira e intensidade diferentes entre os genótipos, a análise de variância, utilizada para estimar o coeficiente de repetibilidade usual, pode

TABELA 1. Esquema da análise de variância de acordo com o modelo no qual o efeito temporário do ambiente é removido do erro.

Fonte de variação	G.L.	Quadrado médio	E(QM) ¹
Idades	a-1	QMA	-
Clones	p-1	QMC	$\sigma^2 + \eta\sigma_g^2$
Resíduo	(p-1)(a-1)	QMR	σ^2

¹ σ^2 : variância ambiental; σ_g^2 : variância genotípica; η = a: número de medições (anos).

TABELA 2. Processos de estimação do coeficiente de repetibilidade (r) e seus respectivos estimadores.

Processo de estimação	Estimador ¹
Análise de variância na qual o efeito temporário do ambiente é removido do erro (ANOVA)	$\hat{\sigma}_g^2 \hat{\sigma}_y^2$
Componentes principais obtidos da matriz de variâncias e covariâncias fenotípicas (CPCOV)	$\frac{(\hat{\lambda}_1 - \hat{\sigma}_y^2)}{\hat{\sigma}_y^2 (\zeta - 1)}$
Componentes principais obtidos da matriz de correlações (CPCOR)	$(\hat{\lambda}_1 - 1) / (\eta - 1)$
Análise estrutural com base no autovalor teórico da matriz de correlações (\hat{R}) ou correlação média (AECOR)	$(\hat{\alpha}' \hat{R} \hat{\alpha}) / (\eta - 1)$

¹ $\hat{\sigma}_y^2 = \hat{\sigma}^2 + \hat{\sigma}_g^2$; $\hat{\sigma}_y^2$: variância fenotípica; $\hat{\sigma}^2$: variância ambiental; $\hat{\sigma}_g^2$: variância genotípica; $\hat{\lambda}_1$: autovalor da matriz de covariância ($\hat{\Gamma}$) ou da matriz de correlação (\hat{R}) associado ao autovetor cujos elementos têm o mesmo sinal e magnitudes semelhantes; $\hat{\alpha}$: autovetor associado ao maior autovalor de \hat{R} e η : número de medições.

não eliminar este componente adicional do erro experimental, e, conseqüentemente, a estimativa do coeficiente de repetibilidade apresenta-se subestimada (Cruz & Regazzi, 1994). Cavalcanti (1997), estudando híbridos entre cajueiro-anão precoce e comum, propagados por sementes, detectou efeito significativo da interação genótipos x idades, no tocante à produção, evidenciando comportamento diferenciado dos materiais nas diferentes idades, o que confirma o efeito de periodicidade nesse caráter.

Em tais situações, Abeywardena (1972) relata que o coeficiente de repetibilidade pode ser mais eficientemente estimado por meio da técnica de componentes principais. Nessa metodologia, o autovetor, cujos elementos apresentam o mesmo sinal e magnitudes próximas, é aquele que expressa a tendência dos genótipos em manter suas posições relativas nos vários períodos de tempo. O autovalor

que tem este autovetor associado é o estimador do coeficiente de repetibilidade. De fato, nota-se que a metodologia que utiliza componentes principais apresentou a maior estimativa de r e R^2 (Tabela 3), sobretudo utilizando a matriz de variâncias e covariâncias fenotípicas, sendo, portanto, mais eficiente na estimativa do coeficiente de repetibilidade dos caracteres avaliados no cajueiro-anão precoce.

Quanto aos caracteres altura da planta e diâmetro da copa (Tabela 4), com todos os métodos, exceto por meio da ANOVA, verificou-se ser possível com apenas uma observação obter uma precisão de 90%, enquanto com duas, o valor R^2 alcança 95%. Em relação ao caráter produção de castanha, em função das menores estimativas obtidas de r , é necessário maior número de medições. Já com o método que se mostrou mais eficiente, ou seja, a análise dos componentes principais obtidos da matriz de variâncias e covariâncias fenotípicas

TABELA 3. Estimativas do coeficiente de repetibilidade (r) e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), da altura da planta (AP), diâmetro da copa (DC) e produção de castanha (PC), considerando quatro diferentes métodos.

Método ¹	AP		DC		PC	
	r	R^2 (%)	r	R^2 (%)	r	R^2 (%)
ANOVA	0,85	96,55	0,87	97,18	0,51	84,15
CPCOV	0,94	98,66	0,96	99,15	0,88	97,29
CPCOR	0,92	98,35	0,94	98,66	0,67	90,93
AECOR	0,92	92,18	0,94	98,64	0,60	88,20

¹ ANOVA: análise de variância; CPCOV: componentes principais/variâncias e covariâncias; CPCOR: componentes principais/correlações; AECOR: análise estrutural.

TABELA 4. Estimativa do número de medições (n_0) necessárias para predição do valor real dos clones quanto aos caracteres altura da planta (AP), diâmetro da copa (DC) e produção de castanha (PC), considerando quatro diferentes métodos e coeficientes de determinação de 90%, 95% e 99%.

Estimador ¹	AP			DC			PC		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%	90%	95%	99%
ANOVA	2	4	17	2	3	15	9	18	95
CPCOV	1	2	7	1	2	4	2	3	14
CPCOR	1	2	9	1	2	7	5	10	49
AECOR	1	2	9	1	2	7	6	13	66

¹ ANOVA: análise de variância; CPCOV: componentes principais/variâncias e covariâncias; CPCOR: componentes principais/correlações; AECOR: análise estrutural.

(CPCOV), observa-se que o número ideal é de duas e três medições para coeficientes de determinação de 90% e 95%, respectivamente. Apesar disso, com o avanço do programa de melhoramento do cajueiro, espera-se que as diferenças genéticas entre os materiais selecionados tornem-se menores, aumentando, portanto, o grau de dificuldade na discriminação de genótipos superiores. Neste caso, torna-se necessária a utilização de maior precisão.

Ainda pela análise da Tabela 4, percebe-se que é possível obter maiores níveis de precisão mediante um maior número de medições, nas quais se espera alcançar 99% de determinação do valor real dos indivíduos. No entanto, o processo seletivo seria mais demorado, no tocante ao caráter produção de castanha, pois necessitaria 14 medições.

Mediante o exposto, na seleção clonal do cajueiro-anão precoce deve-se considerar três medições do caráter produção de castanha, e duas, da altura da planta e do diâmetro da copa, a partir do segundo ano de idade das plantas, quando estas se encontram com crescimento vegetativo mais diferenciado. Esta situação torna o processo seletivo mais eficiente, reduzindo o tempo necessário à recomendação final de um clone para o plantio comercial e, conseqüentemente, os seus custos financeiros.

Cavalcanti (1997) sugeriu a possibilidade de praticar a seleção precoce em cajueiros, propagados por sementes, pois detectou valores do coeficiente de correlação de Spearman (citado por Steel & Torrie, 1980) significativos ($r_s = 0,79$ a $0,90$), entre as idades do terceiro ao quinto ano de produção, relacionando duas a duas, e indicou alto grau de coincidência na ordem de classificação dos genótipos, caracterizando interação genótipos x idades do tipo simples. No presente trabalho, esse coeficiente também foi estimado, apresentando valor de $r_s = 0,94$ no tocante à produção, em comparação com a média de três medições (2ª, 3ª e 4ª) com a média geral. Tal fato facilita o processo seletivo e reforça a viabilidade de praticar seleção precoce.

CONCLUSÕES

1. A metodologia da análise de componentes principais utilizando a matriz de variâncias e covariâncias fenotípicas é mais eficiente para a esti-

mação do coeficiente de repetibilidade dos caracteres avaliados em clones de cajueiro-anão precoce.

2. Na seleção de clones, deve-se realizar três medições do caráter produção de castanha, e duas outras medições da altura da planta e diâmetro da copa, a partir do segundo ano de idade das plantas.

3. É viável o emprego da seleção precoce em programas de melhoramento do cajueiro-anão precoce.

REFERÊNCIAS

- ABEYWARDENA, V. An application of principal component analysis in genetics. **Journal of Genetics**, Sadashivanagar, v.61, p.27-51, 1972.
- BARROS, L. de M.; CRISÓSTOMO, J.R. Melhoramento genético do cajueiro. In: ARAÚJO, J.P.P. de; SILVA, V.V. da. (Orgs.). **Cajucultura: modernas técnicas de produção**. Fortaleza : Embrapa-CNPAT, 1995. p.73-96.
- CAVALCANTI, J.J.V. **Cruzamento dialélico parcial para avaliação de híbridos interpopulacionais de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.)**. Lavras : UFLA, 1997. 67p. Dissertação de Mestrado.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa : UFV, 1994. 390p.
- FALCONER, D.S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa : UFV, 1981. 279p.
- MANSOUR, H.; NORDHEIN, E.V.; RUTLEDGE, J.J. Estimators of repeatability. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v.60, p.151-156, 1981.
- PESSOA, P.F.P.; LEITE, L.A.S.; PIMENTEL, C.R.M. Situação atual e perspectivas da agroindústria do caju. In: ARAÚJO, J.P.P. de; SILVA, V.V. da. (Orgs.). **Cajucultura: modernas técnicas de produção**. Fortaleza : Embrapa-CNPAT, 1995. p.23-42.
- RUTLEDGE, J.J. A scaling which remove bias of Abeywardena's estimator of repeatability. **Journal of Genetics**, Sadashivanagar, v.61, p.247-250, 1974.
- STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. **Principles and procedures of statistics**. 2.ed. New York : McGraw-Hill, 1980. 633p.
- VENCOVSKY, R. **Princípios de genética quantitativa**. Piracicaba : ESALQ, 1973. 97p.