

COMUNICAÇÃO CIENTÍFICA

SELEÇÃO PRECOCE INTENSIVA: UMA NOVA ESTRATÉGIA PARA O PROGRAMA DE MELHORAMENTO GENÉTICO DO CAJUEIRO¹

JOSÉ JAIME VASCONCELOS CAVALCANTI² & MARCOS DEON VILELA DE RESENDE³

RESUMO- Os programas de melhoramento da maioria das culturas perenes apresentam grande limitação de áreas experimentais. Este trabalho se propõe a introduzir um novo método, chamado de “Seleção Precoce Intensiva” (SPI), para ser utilizado no melhoramento do cajueiro, com o objetivo de aumentar o ganho genético por área de experimentação e unidade de tempo. Trata-se de um método simples, em que ocorre um adensamento quatro vezes maior que o tradicional e uma seleção precoce, baseada em caracteres de alta herdabilidade, nos dois primeiros anos de idade das plantas. Os resultados demonstram maior eficiência e viabilidade de aplicação deste método em relação ao sistema convencional de melhoramento dessa espécie.

Termos para indexação: *Anacardium occidentale* L., melhoramento genético, ganho genético.

INTENSIVE EARLY SELECTION: A NEW STRATEGY FOR THE BREEDING PROGRAM OF CASHEW TREE

ABSTRACT- Most breeding programs of perennial crops have great limitation on land availability for experimental plots. The purpose of this work is to introduce a new method here called “Intensive Early Selection” (IES), to be used in the cashew breeding with the aim of increasing the genetic gain per area and time. It is a simple method that uses a density of plants four times higher than the traditional system and an early selection based on characters with high heritability, when the plants reach two years old. The analysis results demonstrate greater effectiveness and feasibility of applying this approach over the conventional system of breeding in this crop.

Index terms: *Anacardium occidentale* L., breeding, genetic gain.

O melhoramento utilizado no cajueiro-anão precoce no Brasil teve início em 1965, no Campo Experimental de Pacajus-CE, e proporcionou o lançamento comercial dos clones CCP 06 e CCP 76, em 1983, e CCP 09 e CCP 1001, em 1987 (BARROS et al., 1984; ALMEIDA et al., 1992). Atualmente, o melhoramento populacional do cajueiro vem sendo praticado com o objetivo de aumentar a frequência de alelos favoráveis nas populações, sendo o método de seleção recorrente de famílias de meios-irmãos o mais empregado. Resende (2002) cita que a eficiência do método de melhoramento depende do mecanismo genético envolvido na herança do caráter a ser melhorado, como o número de genes que o influenciam, os efeitos e ações gênicas, herdabilidade, repetibilidade e associações com outros caracteres. Neste sentido, uma eficiente estimativa dos parâmetros genéticos constitui base

fundamental para o sucesso de qualquer programa de melhoramento.

Como na grande maioria das culturas, um grande desafio a ser enfrentado pelo programa de melhoramento do cajueiro é superar e explorar as propriedades inerentes à interação genótipos x ambientes, através da implantação de experimentos em diferentes locais, sobretudo em função da expansão do cultivo para outros ecossistemas, demandando o emprego de métodos de seleção mais elaborados para obtenção de clones específicos aos diversos ambientes. Todavia, um dos fatores limitantes ao programa é a necessidade de grandes áreas experimentais, em função do espaçamento utilizado entre as plantas.

Além disso, observações anteriormente realizadas em diversos experimentos do programa desta cultura demonstram que em torno de 84%

¹(Trabalho 270-09). Recebido em: 03-12-2009. Aceito para publicação em: 14-09-2010.

²Eng. Agr., Dr., Embrapa Algodão, C.P. 174, CEP 58428-095 Campina Grande, PB. E-mail: jaime@cnpa.embrapa.br

³Eng. Agr., Dr., Embrapa Florestas, C. P. 319, CEP 83411-000 Colombo, PR. Email: deon@cnpf.embrapa.br

das plantas oriundas dos testes de progênes e 70% dos híbridos anão x comum gerados produzem castanhas com peso inferior a 10 g (indesejável para a cultura), aproximadamente 20% delas apresentam alta suscetibilidade às doenças antracnose e mofo-preto, e parte significativa das plantas possui desenvolvimento vegetativo atípico, que geralmente são correlacionados a baixas produtividades. Esse comportamento compromete a eficácia do programa. Sendo assim, a eliminação desses indivíduos indesejáveis proporcionará um ganho genético na população a ser avaliada (CAVALCANTI; BARROS, 2009).

Métodos de seleção precoce têm sido propostos para espécies florestais (PALUDZYSZYN FILHO et al., 2002). No entanto, para espécies perenes frutíferas, nenhum método de seleção precoce foi apresentado até o momento. Assim, o presente trabalho visa a propor uma nova metodologia, chamada de Seleção Precoce Intensiva (SPI), para ser utilizada no melhoramento do cajueiro, considerando os aspectos práticos e sua eficiência em relação ao sistema convencional de melhoramento dessa espécie, com o intuito de aumentar o ganho genético por área de experimentação e unidade de tempo.

A SPI é uma metodologia que consiste no uso de um adensamento quatro vezes maior que o tradicional e uma seleção precoce para os caracteres de alta herdabilidade (peso de castanha, resistência a doenças, entre outros), nos dois primeiros anos de idade das plantas (Quadro 1). Neste método, apenas um indivíduo para cada grupo de quatro plantas será selecionado, eliminando os demais (Figura 1).

No primeiro estágio de seleção, o ganho genético é dado por:

$\Delta sp = (PSP - PO)h^2$; em que: PSP média da população selecionada precocemente, e PO média da população original; h^2 herdabilidade do caráter selecionado.

Para a conclusão do processo seletivo, em função dos caracteres de baixa herdabilidade (produção, por exemplo), que necessitam de maior período de avaliação, a seleção continua como no método tradicional, ou seja, a PSP permanece sendo avaliada até a finalização do processo (4º ano). O ganho genético final é dado por:

$\Delta sf = (PF - PSP)h^2 + \Delta sp$; em que Δsf diferencial de seleção final; PF média da população final selecionada.

De forma que, em relação à população original, o ganho genético será bastante superior, pois o diferencial de seleção final será dado por:

$dsf = PF - PO$, em que: a PF é oriunda de uma população original 4x maior que no método

tradicional, ou seja, não adensado.

Com isto, é fácil perceber, pela expressão a seguir, que o ganho de seleção será maior:

$$\Delta sf = h^2 dsf.$$

Assim, serão praticadas duas seleções: precoce (SP, estágio juvenil) e final (SF, estágio adulto). O ganho total de seleção por unidade de tempo será: $GST = \Delta sf/t$; em que: t corresponde ao número de anos por ciclo.

As seguintes considerações são realizadas sobre o novo método:

1) A desvantagem da SPI é o espaçamento diferenciado entre plantas dentro das linhas, porém acredita-se que será compensada pelo maior ganho e pela menor variabilidade fenotípica dentro das parcelas, contribuindo para a redução do erro experimental.

2) Para evitar grande competição entre as plantas, será imposta uma restrição de selecionar indivíduos com espaçamento mínimo de 3,0 m.

3) Estes espaçamentos não ocasionarão grandes problemas, pois a seleção final será realizada precocemente (4º ano de idade das plantas), idade em que o cajueiro não terá atingido seu máximo vigor vegetativo, mas que possui forte correlação com a fase adulta (CAVALCANTI et al., 2000).

Outras ações para minimizar os problemas gerados pela diferenciação do espaçamento entre as plantas dentro das linhas são: (i) criar e usar a variável produção por área de copa das plantas (eficiência produtiva); (ii) realizar um ajustamento por covariância dos valores das plantas em função da área ocupada por planta remanescente após o desbaste.

A ação (i) refere-se a expressar a produção por unidade de área de copa, calculando-se a área da copa com base na altura (AP) e diâmetro (DC) da planta e assumindo uma forma esférica. Nesse caso, a área lateral de uma zona esférica é dada por $\pi DC AP$. Expressando a produção dessa forma, a comparação entre a produtividade de plantas com diferentes tamanhos fica mais precisa, e a seleção beneficiará aquelas concomitantemente mais produtivas e menores. Além de identificar os melhores genótipos para plantio adensado, essa prática corrige para os benefícios ambientais devidos à falta de competição. Essa mesma estratégia pode ser adotada para os caracteres altura de planta (AP) e produção de castanha (PROD), que apresentam correlação genética positiva e alta. Isto dificulta a seleção de plantas produtivas e com porte baixo, mais próximas do tipo anão. Uma alternativa interessante é selecionar com base na variável relacional produção

de castanha por unidade de altura (PROD/AP).

A ação (ii) refere-se à obtenção de dados das variáveis avaliadas, corrigidos para a área ocupada por planta remanescente após o desbaste (redução na competição). Assim, para a obtenção dos dados corrigidos para tais efeitos, a equação de ajuste é dada por:

$$y_{ijc} = y_{ij} - \hat{b}(x_{ij} - u_x) \text{ em que:}$$

y_{ijc} = dados corrigidos, prontos para integrar o vetor y na análise de modelos mistos; y_{ij} = dados observados; \hat{b} = estimativa do coeficiente de regressão residual entre a área ocupada por planta (x) e os dados do caráter avaliado (y); x_{ij} = área ocupada por planta; u_x = média da área ocupada por planta.

Para os valores altos de x_{ij} , \hat{b} tenderá a ser positivo, ou seja, quanto maior x_{ij} maior será o y_{ij} de cada planta. Assim, pela fórmula de y_{ijc} , verifica-se que, quando $x_{ij} < u_x$, a correção aumentará o valor da observação fenotípica e, quando $x_{ij} = u_x$, nenhuma correção será aplicada a esta observação, conforme desejado. É importante notar que \hat{b} é inerente a um coeficiente de regressão residual, devendo ser estimado livre dos efeitos de blocos e de tratamentos (progênies ou clones).

A SPI combinada com a seleção final caracteriza um processo de seleção em múltiplos estágios. A seleção em múltiplos estágios envolve, em geral, a eliminação de indivíduos inferiores em uma idade precoce e, em seguida, a seleção (dentro os não eliminados previamente) dos indivíduos superiores na idade adulta.

Conforme Resende (2002), o ganho genético total (G_{ST}) é dado por $G_{ST} = G_{s(A/J)} + G_{s(A/A)}$, em que:

$G_{s(A/J)} = k_J \sigma_{a(J,A)} / \sigma_{FJ}$ = ganho na idade adulta com seleção no estágio juvenil;

$G_{s(A/A)} = K_A^* \sigma_{aA}^{2*} / \sigma_{FA}^*$ = ganho na idade adulta com seleção no estágio adulto;

k_J = diferencial de seleção padronizado na idade juvenil; K_A^* = diferencial de seleção padronizado na idade adulta; σ_{aA}^{2*} = variância genética aditiva na idade adulta, ajustada para o efeito da seleção realizada no estágio juvenil; σ_{FA}^* = desvio padrão fenotípico na idade adulta, ajustado para o efeito da seleção realizada no estágio juvenil; $\sigma_{a(J,A)}$ = covariância genética aditiva entre os estágios juvenil e adulto; σ_{FJ} = desvio-padrão fenotípico na idade juvenil.

A variância genética aditiva ajustada para uma seleção prévia, realizada na mesma população e considerando o caráter como o mesmo ($r_{aJA} = 1$) de uma idade para outra, é:

$$\sigma_{aA}^{2*} = \sigma_{aA}^2 - [(\sigma_{aA}^2)^2 k_J (k_J - t_J)] / \sigma_{FJ}^2 = \sigma_{aA}^2 [1 - h^2 k_J (k_J - t_J)]$$

em que:

t_J = ponto de truncamento da curva normal padronizada, associado à seleção prévia; h^2 = herdabilidade associada à seleção; σ_{aA}^2 = variância aditiva na idade adulta, antes da seleção; σ_{FJ}^2 = variância fenotípica na idade juvenil.

A fórmula do ganho total pode ser expressa alternativamente por:

$$G_{ST} = k_J h_J h_A r_{aJA} \sigma_{FA} + K_A^* h_A^{2*} \sigma_{FA}^* \\ = k_J h_J h_A r_{aJA} \sigma_{FA} + K_A^* \frac{1 - r_{aJA}^2 h_J^2 k^*}{(1 - r_{FJA}^2 k^*)^{1/2}} h_A^2 \sigma_{FA}$$

Essa igualdade advém dos seguintes resultados:

$$h_A^{2*} = h_A^2 \left(\frac{1 - r_{aJA}^2 h_J^2 k^*}{1 - r_{FJA}^2 k^*} \right); \quad \sigma_{FA}^{2*} = (1 - r_{FJA}^2 k^*) \sigma_{FA}^2;$$

$$k^* = k_J (k_J - t_J); \quad \sigma_{aA}^{2*} = (1 - r_{aJA}^2 h_J^2 k^*) \sigma_{aA}^2,$$

em que:

σ_{FA}^{2*} = variância fenotípica na idade adulta, não ajustada para o efeito da seleção realizada no 1º estágio; h_A^2 = herdabilidade na idade adulta, não ajustada para o efeito da seleção; h_A^{2*} = herdabilidade na idade adulta, ajustada para o efeito da seleção; h_J^2 = herdabilidade na idade juvenil; r_{aJA} = correlação genética aditiva entre os estágios juvenil e adulto; r_{FJA} = correlação fenotípica entre os estágios juvenil e adulto.

O fator k^* é dependente da intensidade de seleção juvenil e equivale a $k^* = k_J (k_J - t_J)$, em que: k é o diferencial de seleção padronizado (intensidade de seleção), e t é o desvio do ponto de truncamento na seleção juvenil em relação à média geral. Com a seleção juvenil, as variâncias fenotípica e genética da população original são reduzidas por um fator k^* .

A eficiência do ganho da SPI em relação à seleção tradicional (ST) é dada por: $E = (K_{SPI} h^2 T_{ST}) / (K_{ST} h^2 T_{SPI})$. Considerando a herdabilidade constante para os dois sistemas, tem-se $E = (K_{SPI} T_{ST}) / (K_{ST} T_{SPI})$, em que K_{SPI} e K_{ST} , T_{SPI} e T_{ST} são os diferenciais de seleção e os tempos para a SPI e ST, respectivamente.

Para a estimação dos parâmetros genéticos e da eficiência da SPI, foram utilizadas 19 famílias de irmãos completos obtidas sob cruzamentos envolvendo uma população de cajueiro-anão (quatro genitores) e outra de cajueiro comum (cinco genitores) do programa de melhoramento do cajueiro

da Embrapa Agroindústria Tropical, localizada em Pacajus-CE. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com os tratamentos dispostos em três repetições e cinco plantas por parcela. As variáveis usadas foram peso médio da castanha (PC), em grama, obtidos de uma amostra de dez castanhas por planta, e produção de castanhas (PROD), em gramas de castanhas por planta, em quatro colheitas anuais consecutivas.

As estimativas dos parâmetros genéticos são apresentadas na Tabela 1. Verifica-se que, para o caráter PC, há uma alta herdabilidade (h_a^2) e alta correlação genética entre os estágios juvenil e adulto, portanto é um caráter que se apropria perfeitamente à SPI. Já o caráter PROD apresenta baixa herdabilidade e correlação juvenil-adulto, indicando que a seleção, para este atributo, deve ser efetuada na fase de seleção final.

Considerando uma intensidade de seleção de 10% no primeiro estágio e também no estágio adulto, tem-se $k_j = k_A^* = 1,755$, $t_j = 1,282$ e $k^* = k_j$, $(k_j - t_j) = 1,755(1,755 - 1,282) = 0,8301$. Assim, o ganho genético total com a seleção, nos dois estágios para PC, equivale a:

$$G_{ST} = k_j h_j h_A r_{aA} \sigma_{FA} + k_A^* \frac{1 - r_{aA}^2 h_j^2 k^*}{(1 - r_{aA}^2 k^*)^{1/2}} h_A^2 \sigma_{FA}$$

$$G_{ST} = 1,755 (0,678)^{1/2} (0,633)^{1/2} 0,998 (5,5976)^{1/2} + 1,755 \frac{1 - (0,998^2) 0,678 0,8301}{(1 - (0,654)^2 0,8301)^{1/2}} 0,633 (5,5976)^{1/2} = 4,1509$$

em unidades de desvio-padrão, que é considerado um ganho excelente.

A eficiência do ganho, para peso de castanha (PC), da seleção precoce intensiva (SPI) em relação à seleção tradicional (ST), considerando $T_{ST} = 14$ e $T_{SPI} = 9$, intensidade de seleção igual a 20% para a ST, que corresponde a 5% para a SPI, pois o número total de plantas avaliadas será quatro vezes maior, com isto temos $K_{ST} = 1,400$ e $K_{SPI} = 2,063$, será: $E_{PC} = (2,063 \times 14)/(1,400 \times 9) = 2,290$. Portanto, para o caráter PC, a SPI apresenta-se 129% mais eficiente que a ST, ou seja, proporcionará mais que o dobro do ganho genético por unidade de tempo.

Adicionalmente, o emprego da SPI contribuirá para uma redução da alta variabilidade genética existente dentro das parcelas experimentais, uma vez que, no melhoramento populacional dessa cultura, são usadas, principalmente, famílias de meios-irmãos, compostas por indivíduos oriundos de cruzamentos e autofecundações. Assim, há ocorrência de vigor híbrido e depressão por endogamia, respectivamente, dentro da parcela. Após a seleção precoce, essa variabilidade será minimizada pela eliminação dos indivíduos indesejáveis (endogâmicos e atípicos), colaborando para a redução do erro experimental e aumento na herdabilidade, com consequente incremento no ganho genético.

Neste contexto, podemos concluir que o uso da SPI demonstra maior eficácia e viabilidade de aplicação que o sistema convencional de melhoramento dessa espécie, podendo proporcionar impacto significativo e favorável ao processo seletivo do cajueiro. Essa metodologia apresenta, também, grande potencial para ser aplicada com sucesso em programas de melhoramento de outras espécies perenes.

QUADRO 1 - Comparação entre o método de seleção tradicional e a Seleção Precoce Intensiva para o cajueiro quanto ao tempo final para recomendação de um novo clone.

Ano	Seleção Tradicional (ST)	Seleção Precoce Intensiva (SPI)
0	Plantio	Plantio
1		
2		Pré-seleção (SPI)
3		
4		
5		Seleção dos melhores indivíduos
6	Seleção dos melhores indivíduos	Teste de competição de clones
7	Teste de competição de clones	
8		
9		Recomendação Final
10		
11		
12		
13		
14	Recomendação Final	
Ganho		
Tempo		5 anos
Espaço	X= 208 plantas / ha	4X = 832 plantas / ha

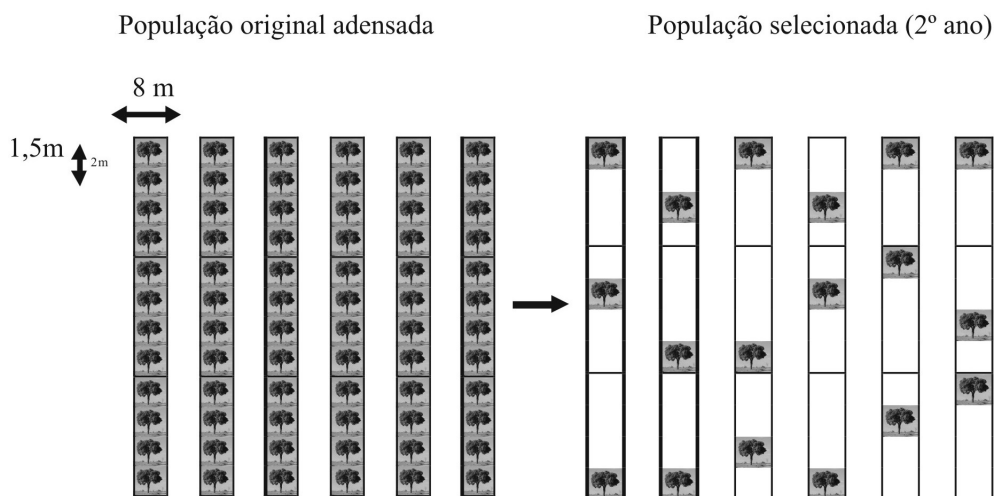


FIGURA 1 - Exemplo do esquema de Seleção Precoce Intensiva (SPI) com plantio inicial adensado, em 4x, em relação ao sistema tradicional.

TABELA 1 - Estimativas de parâmetros genéticos para as variáveis peso médio de castanhas (PC, g/castanha) e produção de castanhas (PROD, g/planta) em cajueiro. Análises individuais em dois estágios, juvenil (J) e adulto (A). Pacajus - CE. 2007.

Estimativas	PC-J	PC-A	PROD-J	PROD-A
$\hat{\sigma}_a^2$	4,3398	3,5421	236566,910	689301,550
$\hat{\sigma}_F^2$	6,4032	5,5976	1654555,740	3246404,080
\hat{h}_a^2	0,678	0,633	0,143	0,212
r_{aJA}	0,998	0,998	0,343	0,343
r_{FJA}	0,654	0,654	0,060	0,060

$\hat{\sigma}_a^2$: variância aditiva; $\hat{\sigma}_F^2$: variância fenotípica; \hat{h}_a^2 : herdabilidade restrita; r_{aJA} : correlação genética aditiva entre os estágios juvenil e adulto; r_{FJA} correlação fenotípica entre os estágios juvenil e adulto.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J.I.L.; ARAÚJO, F.E.; LOPES, J.G.V. **Evolução do cajueiro-anão precoce na Estação Experimental de Pacajus, Ceará**. Fortaleza: EPA-CE, 1992. 17p. (Documentos, 6)
- BARROS, L. M.; ARAÚJO, F. E.; ALMEIDA, J. I. L.; TEIXEIRA, L. M. S. **A cultura do cajueiro-anão**. Fortaleza: EPACE, 1984. 67 p.
- CAVALCANTI, J. J. V.; BARROS, L. de M. Avanços, desafios e novas estratégias do melhoramento genético do cajueiro no Brasil. In: SIMPÓSIO NORDESTINO DE GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS, 1., 2009, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2009. p. 83-101.
- CAVALCANTI, J. J. V.; PINTO, C. A. B. P.; CRISOSTOMO, J. R.; FERREIRA, D. F. Análise dialélica para avaliação de híbridos interpopulacionais de cajueiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.8, p.1567-1575, 2000.
- PALUDZYSZYN FILHO, E. ; FERNANDES, J. S. C. ; RESENDE, M. D. V. Avaliação e seleção precoce para crescimento de Pinus taeda. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 12, p. 1719-1726, 2002.
- RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 975p.