



Seleção em uma População Segregante de Cajueiro por meio de Repetibilidade



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Agroindústria Tropical
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
228**

**Seleção em uma População Segregante
de Cajueiro por meio de Repetibilidade**

Dheyne Silva Melo
Maria Clideana Cabral Maia
Francisco das Chagas Vidal Neto
Levi de Moura Barros
Cosme Damião Cruz
Luís Cláudio de Oliveira
Lúcio Borges de Araújo
Luciano Macedo Medina

Embrapa Agroindústria Tropical
Fortaleza, CE
2022

Unidade responsável pelo conteúdo e edição:

Embrapa Agroindústria Tropical
Rua Dra. Sara Mesquita 2270, Pici
CEP 60511-110 Fortaleza, CE
Fone: (85) 3391-7100
Fax: (85) 3391-7109
www.embrapa.br/agroindustria-tropical
www.embrapa.br/fale-conosco

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Agroindústria Tropical

Presidente
Antônio Genésio Vasconcelos Neto

Secretária-executiva
Celli Rodrigues Muniz

Secretária-administrativa
Eveline de Castro Menezes

Membros
Afrânio Arley Teles Montenegro, Ana Cristina Portugal Pinto de Carvalho, Christiana de Fátima Bruce da Silva, Francisco Nelsieudes Sombra Oliveira, José Roberto Vieira Júnior, Laura Maria Bruno, Roselayne Ferro Furtado, Sandra Maria Morais Rodrigues

Revisão de texto
José Cesamildo Cruz Magalhães

Normalização bibliográfica
Rita de Cassia Costa Cid

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
José Cesamildo Cruz Magalhães

Foto da capa
Francisco das Chagas Vidal Neto

1ª edição
On-line (2022)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Agroindústria Tropical

Seleção em uma população segregante de cajueiro por meio de repetibilidade / Maria Clideana Cabral Maia... [et al.]. – Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2022.

23 p. : il. ; 16 cm x 22 cm – (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Agroindústria Tropical, ISSN 1679-6543; 228).

Publicação disponibilizada on-line no formato PDF.

1. *Anacardium occidentale*. 2. Melhoramento genético. 3. Dados longitudinais. 4. *Anacampsis phytomiella*. 5. *Erysiphe quercicola*. I. Melo, Dheyne Silva. II. Maia, Maria Clideana Cabral. III. Vidal Neto, Francisco das Chagas. IV. Barros, Levi de Moura. V. Cruz, Cosme Damião. VI. Oliveira, Luís Cláudio de. VII. Araújo, Lúcio Borges de. VIII. Medina, Luciano Macedo. IX. Série.

CDD 634.573

Sumário

Resumo.....	4
Abstract.....	6
Introdução.....	7
Material e Métodos.....	8
Resultados e Discussão.....	10
Conclusões.....	21
Agradecimentos.....	21
Referências.....	21

Seleção em uma População Segregante de Cajueiro por meio de Repetibilidade

Dheyne Silva Melo¹

Maria Clideana Cabral Maia²

Francisco das Chagas Vidal Neto³

Levi de Moura Barros⁴

Cosme Damião Cruz⁵

Luís Cláudio de Oliveira⁶

Lúcio Borges de Araújo⁷

Luciano Macedo Medina⁸

Resumo - Os dados longitudinais dos caracteres quantitativos de uma população estudada, medidos em cinco safras consecutivas, refletem a porcentagem da variância fenotípica, que é devida à fração da variância genética no ambiente permanente. O objetivo deste trabalho foi estimar o número necessário de medições para otimizar a seleção para caracteres de produção e de reação aos principais problemas fitossanitários do cajueiro. Uma população segregante de polinização aberta, do programa de melhoramento genético do cajueiro da Embrapa Agroindústria Tropical, constituída por 49 diferentes progênies, representadas por oito indivíduos de meios-irmãos, foi avaliada considerando-se cinco safras consecutivas. Foram avaliados os seguintes caracteres: produtividade de castanha (PROD, kg.ha⁻¹); massa média de castanha (MMC, g); reação à traça-das-castanhas – PCF; e severidade ao oídio – Soídio. O delineamento experimental foi o

¹ Engenheiro-agrônomo, doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE

² Engenheira-agrônoma, doutora em Genética e Melhoramento de Plantas, pesquisadora da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE

³ Engenheiro-agrônomo, doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE

⁴ Engenheiro-agrônomo, doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE

⁵ Engenheiro-agrônomo, doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, professor da Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa, MG

⁶ Engenheiro Florestal, mestre em Ciências de Florestas Tropicais, pesquisador da Embrapa Acre, Rio Branco, AC

⁷ Matemático, doutor em Ciências Exatas, Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Uberlândia, MG

⁸ Engenheiro Florestal, doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, Universidade Federal do Paraná – UFPR, Paraná, PR

de blocos casualizados, com 49 tratamentos (progênies), duas repetições e quatro plantas por parcela. Os componentes de variância (REML – Máxima Verossimilhança Restrita) foram obtidos com o emprego do software Selegen (Resende, 2016). Um valor alto da estimativa de repetibilidade dos caracteres PROD (0,90) e MMC (0,84) indica que é possível predizer o valor real do indivíduo a partir de três e quatro medições, respectivamente.

Termos para indexação: *Anacardium occidentale* L., melhoramento genético, dados longitudinais, *Anacamptis phytomiella*, *Erysiphe quercicola*.

Selection in a Segregant Population of Cashew Tree Throughout Repeatability

Abstract - The longitudinal data measured in five consecutive crops of the quantitative characters from one evaluated population reflect the percentage of the phenotypic variance that's due to the fraction the genetic variance in the permanent environment. This work aims to estimate the required number of measurements to optimize the selection to production variables and the reaction to the main phytosanitary problems of cashew tree. One segregant population with open pollination from the Embrapa Tropical Agroindustry's program of genetic improvement of cashew tree formed to 49 different progenies represented for eight plants of half sibs was evaluated considered five consecutive crops. Were evaluated the following cashew nut characters: yield (PROD, kg.ha⁻¹), mean nut weight (MMC, g), reaction to nut moth – PCF and severity to powdery mildew – soidium. The experimental design were the randomized blocks with two repetitions and four plants per plot. The components of variance (REML – Maximum Restricted Likelihood) were obtained using the software Selegen (Resende, 2016). The high values observed in the repeatability estimative to the characters PROD (0,90) and MMC (0,84) denote that is possible predicted the true value of the individual from of three and four measurements, respectively.

Index terms: *Anacardium occidentale* L., genetic improvement, longitudinal data, *Anacamptis phytomiella*, *Erysiphe quercicola*.

Introdução

O procedimento analítico padrão recomendado para estudos em genética quantitativa, visando à seleção em plantas perenes, envolve estimativas de componentes de variância e de valores genéticos, utilizando-se a metodologia denominada modelos mistos. Essa metodologia permite a predição acurada e não enviesada dos valores genéticos, mesmo sob desbalanceamento. Isso também facilita o uso simultâneo das informações do indivíduo, da população e de medidas repetidas no tempo (Sturion; Resende, 2010; Pereira et al., 2013).

Quando medidas são realizadas em um mesmo indivíduo, assume-se que existe uma semelhança entre as medidas devido ao ambiente comum, ou alguma circunstância durante a vida do indivíduo, que o afetará permanentemente. Dessa maneira, admite-se que existe uma covariância entre as medidas em um indivíduo devido a efeitos não genéticos, ou seja, devido ao ambiente permanente (Mrode, 2014). Assim, quando existe essa semelhança entre as medidas nesse tipo de estrutura de dados (longitudinais), é necessário levar em consideração essa covariância. Existem várias formas de modelar dados com medidas repetidas, sendo o modelo mais simples o chamado modelo de repetibilidade (Resende, 2007). A medida de consistência da posição em relação à classificação dos indivíduos, durante sucessivas medições de determinado caráter, é denominada repetibilidade (Turner; Young, 1969; Cruz et al., 2012).

Variáveis com altas e intermediárias estimativas de coeficientes de repetibilidade permitem inferir que podem ser utilizadas em estudos genéticos, com vistas ao incremento da eficiência do processo seletivo e do avanço do melhoramento genético da população de uma espécie. Assim, tomando a repetibilidade como o limite que a herdabilidade pode assumir, há a indicação da boa confiabilidade do valor fenotípico como indicador do valor genotípico e significativa capacidade de repetição da expressão do caráter avaliado (Pinheiro et al., 2019).

Já caracteres de baixa repetibilidade, com forte variação causada pelo ambiente, geralmente necessitam de elevado número de medidas para predição do seu valor genotípico real. Algumas vezes, porém, têm que ser

selecionados indiretamente, a partir de outra variável a ela correlacionada, e com boa repetibilidade (Viana et al., 2009).

Assim, o objetivo deste trabalho foi estimar o número necessário de medições a fim de otimizar a seleção para caracteres de produção e de reação aos principais problemas fitossanitários do cajueiro.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido no Campo Experimental de Pacajus, pertencente à Embrapa Agroindústria Tropical, localizado no município de Pacajus, CE, nas coordenadas geográficas 4°10'22" de latitude Sul e 38°27'39" de longitude Oeste, e 60 m de altitude. O solo da área experimental é um Podzólico Vermelho Amarelo Tb Eutrófico A fraco, com textura arenosa média. O clima é do tipo seco subúmido, segundo a classificação climática de Thornthwaite. Tem uma precipitação pluvial média de 1.100 mm/ano e temperatura média anual de 26,5 °C.

Uma população segregante de polinização aberta do programa de melhoramento genético do cajueiro da Embrapa Agroindústria Tropical, constituída por 49 diferentes progênies representadas por oito indivíduos de meios-irmãos, foi avaliada considerando-se cinco safras consecutivas.

As 49 progênies foram obtidas a partir da coleta de sementes de plantas matrizes selecionadas fenotipicamente em áreas de produção comercial (plantios segregantes), nos municípios de Beberibe e Cruz (CE), Serra do Mel (RN), Araguaína (TO) e Belém (PA), com o objetivo de ampliar a base genética do programa de melhoramento do cajueiro da Embrapa Agroindústria Tropical. Cada uma dessas progênies foi representada por uma subamostra de oito indivíduos, totalizando 392 indivíduos. Os principais caracteres utilizados na seleção estavam relacionados à produção (produtividade e massa de castanha).

O experimento foi instalado em março de 2005, em delineamento de blocos casualizados, com duas repetições e quatro plantas por parcela. As avaliações foram feitas entre 2010 e 2014, considerando-se cinco safras consecutivas, para os seguintes caracteres: produtividade da castanha (PROD kg ha⁻¹); massa média (g) de castanha (MMC): a partir da pesagem

da massa de uma amostra aleatória composta por 100 castanhas coletadas de cada planta, com posterior obtenção da média aritmética; reação à traçadas-castanhas: a partir da porcentagem de castanhas furadas, em uma amostra aleatória de 100 castanhas (PCF – %); e reação ao oídio: severidade estimada por meio de uma escala de notas (0-4) (Melo et al., 2018), em ordem crescente de severidade (Soídio). O controle de pragas e doenças não foi empregado no experimento, possibilitando o livre ataque. Foi considerada uma área experimental com histórico de infestação natural da praga e de doenças avaliadas.

Inicialmente, a análise estatística descritiva dos dados foi obtida utilizando-se o modelo 105 do software Selegen-REML/BLUP (Resende, 2016) para cada um dos conjuntos de dados analisados – blocos individuais e média geral. Os principais resultados obtidos por essa análise são o tipo de distribuição verificada para cada uma das variáveis e suas correlações aos pares por meio do coeficiente de correlação de Pearson (r_{xy}). As variáveis demonstraram distribuição simétrica e não passaram por transformação, já que se mostraram homogêneas, e suas variâncias aproximaram os dados de uma distribuição do tipo normal, para posterior avaliação de seus componentes de variância, sem a violação dos pressupostos Fisherianos, inerentes a esse tipo de análise.

Os dados de repetibilidade, em cinco medidas (safras), foram avaliados por meio do modelo 63, do programa Selegen-REML/BLUP (Resende, 2016), conforme o modelo linear misto (modelo aditivo univariado, em blocos ao acaso) abaixo:

Modelo estatístico $y = Xm + Wp + e$, em que: y é o vetor de dados; m é o vetor dos efeitos de medição (assumidos como fixos) somados à média geral; p é o vetor dos efeitos permanentes de plantas (efeitos genotípicos + efeitos de ambiente permanente) (assumidos como aleatórios); e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas (X e W) representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos Selegen-REML/BLUP (Resende, 2016).

Os componentes de variância estimados foram:

- V_{fp} : variância fenotípica permanente entre plantas (genotípica + ambiental permanente de uma colheita para outra);

- Vet: variância de ambiente temporário;
- Vf: variância fenotípica individual;
- $r = h^2$: repetibilidade individual;
- rm: repetibilidade da média de m colheitas ou medidas repetidas;
- Acm: o coeficiente de acurácia seletiva baseada na média de m colheitas ou medidas repetidas;
- Média geral do experimento.

Resultados e Discussão

A caracterização genética ou fenotípica de populações, de quaisquer espécies, é própria e intransferível para outras populações da mesma espécie ou de espécies similares, mesmo que elas sejam botanicamente relacionadas e pertençam ao mesmo bioma ou à mesma formação vegetacional (Maia et al., 2018; 2019; 2020; Pinheiro et al., 2019).

Isso significa que, mesmo tratando-se da mesma espécie e abordagem matemática, os resultados de estudos de natureza genética são específicos para as populações e os ambientes avaliados. Isso ocorre porque os resultados refletem a manifestação de genes particulares e sua interação com as variáveis edafoclimáticas do ambiente no qual se encontram inseridos, as quais influenciam o grau de herdabilidade de suas variáveis (Maia et al., 2018; 2019; 2020; Pinheiro et al., 2019).

No entanto, comparações genéticas podem ser justificadas quando as análises comparativas recaem sobre variáveis monogênicas ou controladas por poucos genes (oligogênicas), com um gene maior, que sofrem pequena influência do ambiente externo.

Contudo, feitas as restrições e guardadas as devidas ressalvas, comparações podem ser feitas se as avaliações forem realizadas considerando-se tratamentos comuns. Assim, este trabalho não se reportou comparativamente aos resultados obtidos a partir de populações diversas, cultivadas em outros ambientes, mas apenas às populações avaliadas no experimento.

Os parâmetros genéticos para as quatro variáveis avaliadas, estimados por meio de componentes de variância específicos da população segregante de melhoramento do cajueiro, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros genéticos (REML Individual) para as variáveis Produção – PROD (Kg ha⁻¹); Massa Média da Castanha – MMC (g); Percentagem de Castanhas Furadas – PCF (%); e Severidade de Oídio (Soídio).

Variável	Média geral	Vfp	Vet	Vf	r = h ²	rm	Acm
PROD (Kg ha ⁻¹)	398,74	45429,36	25908,57	71337,92	0,63±0,14	0,90	0,95
MMC (g)	9,63	2,24	2,15	4,49	0,51±0,13	0,84	0,92
PCF (%)	4,48	4,91	15,90	20,81	0,24±0,09	0,61	0,78
Soídio (escore)	1,26	0,02	0,08	0,10	0,20±0,08	0,57	0,75

Média geral do experimento. Vfp: variância fenotípica permanente entre plantas (genotípica + ambiental permanente de uma colheita para outra); Vet: variância de ambiente temporário; Vf: variância fenotípica individual; r = h²: repetibilidade individual; rm: repetibilidade da média de m colheitas ou medidas repetidas; Acm: coeficiente de acurácia seletiva com base na média de m colheitas ou medidas repetidas.

Para as quatro variáveis, observou-se grande influência da variância ambiente temporário, particularmente para PCF (76,4%) e Soídio (80,0%), sobre a variância fenotípica, indicando que estas foram bastante influenciadas pelo ambiente. Para as variáveis PROD e MMC, as estimativas da repetibilidade individual (r) assumiram os valores entre 0,63 ± 0,14 e 0,51 ± 0,13, respectivamente, podendo-se inferir sobre uma considerável participação da variância genotípica nas diferenças entre os genótipos. Valores de r a partir de 0,30 são considerados medianos, e acima de 0,60 são vistos como de boas repetibilidades (Resende, 2002).

As variáveis PROD, PCF e MMC mostraram maior variabilidade fenotípica com relação à variável Soídio. Para essas variáveis, parte da variabilidade, que é de natureza genética, pode ser encontrada tanto entre como dentro das 49 progênies, resultado este semelhante ao relatado anteriormente por Melo (2020) na mesma população e no mesmo ambiente de cultivo, o que permite sua utilização no processo seletivo do melhoramento da cultura. Já

o caráter Soídio apresentou baixa variabilidade fenotípica, possivelmente com esse atributo próximo à fixação genética, isto é, já característico dessa população de melhoramento. Ganhos adicionais para esse atributo poderão ser conseguidos com a introdução de alelos novos que contribuam, efetivamente, com o melhoramento simultâneo para as quatro variáveis, em um índice de seleção robusto e integrado. Cabe salientar que o coeficiente de acurácia seletiva para Soídio foi o menor entre os demais caracteres (0,75), indicando uma qualidade da avaliação genotípica apenas aceitável, em que uma baixa variabilidade genética é consequentemente esperada.

Para a repetibilidade da média de m safras ou medidas repetidas (r_m), a maioria das variáveis experimentou altas estimativas do coeficiente de repetibilidade, com as quais se permitem predições acuradas do valor real dos genótipos da população de meios-irmãos, favorecendo a seleção.

Um valor alto da estimativa de repetibilidade de um caráter ($PROD = 0,90$ e $MMC = 0,84$) e intermediário para $PCF = 0,61$ e Soídio (0,57) indica que é possível prever o valor real do indivíduo com um número relativamente pequeno de medições, especialmente para as variáveis de produção. De acordo com Maia et al. (2014), esses valores sugerem que existe variância genética a ser explorada na seleção entre os genótipos, indicando que a população pode ser considerada apropriada para o programa de melhoramento genético a partir dessa estimativa de considerável controle genético. Segundo Dias (1992), quando os valores de repetibilidade são elevados, observa-se, simultaneamente, que o aumento do número de anos de colheita não se traduz em ganho expressivo na predição do valor real dos indivíduos. O aspecto positivo desse fato é a economia de tempo, mão de obra e recursos demandados para avaliar o comportamento desses indivíduos.

Os valores de repetibilidade média de m colheitas ou medidas repetidas indicam que essas variáveis podem ser utilizadas em estudos genéticos. Igualmente, tomando a repetibilidade como limite que a herdabilidade pode assumir, observa-se que os valores obtidos podem ser considerados satisfatórios, em termos de progresso genético, indicando boa confiabilidade do valor fenotípico como indicador do valor genotípico e significativa capacidade de repetição da expressão do caráter avaliado (Pinheiro et al., 2019). Ou seja, esses valores permitem avaliar e selecionar genótipos de forma precoce e precisa.

A acurácia é uma medida que está associada à precisão na seleção, sendo o principal componente do progresso genético que se pode alterar para maximizar o ganho genético (Maia et al., 2014). Assim, alguns trabalhos têm adotado o coeficiente de acurácia seletiva como forma de validar ou complementar a estimativa do coeficiente de variação – CV (%) (Storck; Silva, 2014; Campos et al., 2016).

As seguintes variáveis exibiram, concomitantemente, altos valores para os coeficientes de acurácia seletiva (Acm), considerando-se as cinco medidas (safras) empregadas no estudo: PROD = 0,95; MMC = 0,92; e PCF = 0,78; enquanto a variável Sódio apresentou uma estimativa de acurácia mediana (0,75). Esses altos e intermediários valores de acurácias refletem boa precisão experimental e, com base nesses resultados, o progresso seletivo para essas variáveis pode ser realizado com acurácia experimental desejável. Resende e Duarte (2007) apontam o coeficiente de acurácia seletiva como um balizador para inferir sobre a qualidade experimental em um programa de melhoramento genético. Para esses autores, valores de coeficientes de acurácia seletiva superiores a 0,70% são considerados aceitáveis para um experimento em campo.

Por ser uma cultura perene com longo ciclo vegetativo e de produção, além dos altos custos para manutenção e avaliação dos experimentos de melhoramento genético, é necessário definir o período mínimo de avaliação (específico para cada caráter da população pesquisada) para que a seleção seja realizada com eficiência e mínimo dispêndio de tempo e recursos (Pinheiro et al., 2019). Daí a necessidade de se definir, em programas de melhoramento dessas espécies, o período mínimo de avaliação, específico para cada população, para comparação de genótipos (Neves et al., 2010).

Os valores dos coeficientes de determinação (Det) e acurácia seletiva (Acm) estimados, encontrados para as variáveis PROD (Det = 0,84% e Acm = 0,92) e MMC (Det = 0,81% e Acm = 0,90), indicam que elas podem ser avaliadas por um período de três e quatro anos, respectivamente (Tabela 2), e são suficientes para predição do valor real dos indivíduos. Resende (2002) afirma que podem ser considerados adequados valores de coeficiente de determinação acima de 0,80%. Esses períodos podem ser considerados adequados para avaliar e selecionar essas progênies, no ambiente de cultivo, com vistas à obtenção de ganho genético na seleção, indicando a ocorrência

de alta regularidade. Altas regularidades foram encontradas na repetição desses atributos entre os anos considerados. Isso significa que o aumento do número de anos de colheita/avaliação não trará ganhos significativos na predição do valor real dos indivíduos.

Tabela 2. Estimativas da eficiência do uso de m medidas.

m	PROD			MMC			PCF			Soídio		
	Det	Acm	Efic.	Det	Acm	Efic.	Det	Acm	Efic.	Det	Acm	Efic.
1	0,63	0,80	1,00	0,51	0,71	1,00	0,24	0,49	1,00	0,21	0,46	1,00
2	0,78	0,88	1,11	0,68	0,82	1,15	0,38	0,62	1,27	0,34	0,59	1,29
3	0,84	0,92	1,15	0,76	0,87	1,22	0,48	0,69	1,43	0,44	0,66	1,46
4	0,88	0,94	1,17	0,81	0,90	1,26	0,55	0,74	1,53	0,51	0,72	1,57
5	0,90	0,95	1,19	0,84	0,92	1,28	0,61	0,78	1,60	0,57	0,75	1,65
6	0,91	0,96	1,20	0,86	0,93	1,30	0,65	0,81	1,66	0,61	0,78	1,71
7	0,92	0,96	1,20	0,88	0,94	1,31	0,68	0,83	1,70	0,65	0,81	1,76
8	0,93	0,97	1,21	0,89	0,94	1,32	0,71	0,84	1,74	0,68	0,82	1,80
9	0,94	0,97	1,22	0,90	0,95	1,33	0,74	0,86	1,76	0,70	0,84	1,84
10	0,94	0,97	1,22	0,91	0,96	1,34	0,76	0,87	1,79	0,72	0,85	1,86

m : medidas; Det: coeficiente de determinação; Acm: coeficiente de acurácia seletiva; Efic: Eficiência. Para as variáveis: Produção – PROD (Kg ha⁻¹); Massa Média da Castanha – MMC (g); Percentagem de Castanha Furada – PCF (%); e Severidade de Oídio – Soídio.

Segundo Dias (1992), valores baixos de repetibilidade podem ser atribuídos a fatores como uniformidade genética dos genótipos, relativa estabilidade das condições de cultivo locais e ausência de interação genótipos x safras. Tal fato pode revelar maior precisão para expressar o verdadeiro valor das plantas para o número de medições efetuadas. Esses resultados demonstram que há alta confiabilidade no número de medições necessárias para selecionar esses dois caracteres (PROD e MMC) em estudo.

Segundo Cavalcanti et al. (1999), com o avanço do programa de melhoramento do cajueiro, as diferenças genéticas entre os materiais selecionados tornam-se menores, aumentando o grau de dificuldade na discriminação deles. Nesse caso, torna-se necessária a utilização de um maior número de avaliações para obtenção de maior precisão. Por outro lado, com estimativas de baixos valores dos coeficientes de determinação (previsibilidade) e coeficiente de acurácia seletiva atribuídos às variáveis PCF e Soídio, um número não inferior a dez observações, nos genótipos, é exigido para a tomada de decisões e prática da seleção com consistência e veracidade. Esse fator pode mostrar comportamento bastante desuniforme e imprevisível, variando de acordo com a ocorrência de pragas e patógenos (forrageamento estocástico), associados à heterogeneidade dos genótipos quanto à resistência/tolerância para esses fatores.

Os resultados demonstram, ainda, que essa população não foi capaz de repetir a expressão desses atributos ao longo de vários períodos de tempo, ou seja, mostraram-se pouco estáveis durante as avaliações. Assim, mesmo com dez medições para essas variáveis (PCF e Soídio), não seria possível maximizar a variação genética existente na população segregante.

A seleção com base em procedimento biométrico inadequado pode ser ineficiente devido à confusão entre efeitos genotípicos e efeitos ambientais. Nessa situação, o procedimento ótimo de seleção é o 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 (BLUP) (Resende, 2007).

O processo seletivo em um programa de melhoramento genético, como o do cajueiro, visando à seleção entre e dentro das progênes das populações segregantes, possibilita que indivíduos possam ser diretamente clonados, com o emprego da técnica de enxertia, visando compor os ensaios multiambientais, antes da recomendação aos agricultores.

Outro caminho, no programa de melhoramento genético do cajueiro, é a seleção de indivíduos que não carreguem bons fenótipos para todos os caracteres, mas para a maioria, ou agreguem um ou mais atributos visados em uma cultivar elite para serem, adicionalmente, empregados como genitores e compor o esquema de cruzamentos para um novo ciclo recorrente do programa de melhoramento genético.

No universo de 15 melhores famílias, para cada caráter, tem-se que: as progênies 6 e 14 se destacaram, simultaneamente, para PROD, MMC e Soídio; as famílias 35 e 38 mostraram-se superiores, simultaneamente, para PROD, MMC e PCF; e a progênie 16 apresentou, simultaneamente, superioridade para as variáveis MMC, PCF e Soídio. Os indivíduos dessas progênies agregaram, para a maioria dos atributos avaliados (75%), as boas características buscadas pelo melhorista (Tabela 3).

Por agregarem fenótipos desejáveis ao programa de melhoramento genético, infere-se que uma seleção ao nível de indivíduos, ou seja, dentro de progênies, deva ser conduzida no intuito de selecionar os melhores indivíduos para a instalação de futuros experimentos clonais ou sua indicação como genitor para um segundo ciclo de recombinação (seleção recorrente) (Tabela 3).

Outra possibilidade seria uma seleção de indivíduos agronomicamente superiores para parte dos caracteres, com incorporação ao programa de melhoramento genético do cajueiro como genitores superiores. Assim, entre as 15 progênies proeminentes da população de meios-irmãos avaliadas, 11 famílias foram selecionadas. As progênies 33 e 32 mostram-se superiores para produtividade de castanha e PCF, ou seja, são ao mesmo tempo produtivas e tolerantes à traça-da-castanha. Já as progênies 1, 13 e 15 apresentam bons valores para PROD e MMC, simultaneamente. As progênies 44 e 12 se destacaram para MMC e PCF. Já as progênies 17 e 18 mostraram MMC desejáveis e são, ao mesmo tempo, tolerantes ao oídio. A progênie 22, além de apresentar boa produtividade, é tolerante ao oídio. Os indivíduos selecionados a partir dessas progênies podem se tornar genitores para futuros cruzamentos, servindo como fontes de alelos para os caracteres avaliados.

Outras progênies mostraram-se superiores para uma variável em particular, podendo ser selecionadas também como genitoras para compor novos cruzamentos, especialmente entre genótipos de grupos heteróticos divergentes e com bom desempenho per si, simultaneamente, a fim de capitalizar a capacidade de combinação entre eles. Outra possibilidade é considerar, nesses cruzamentos, genitores promissores tendo como um dos parentais alguma cultivar comercial.

Tabela 3. Componentes de médias (BLUP individual) estimados para as variáveis produção – PROD (Kg ha⁻¹), massa média da castanha – MMC (g), percentagem de castanha furada – PCF (%) e severidade de oídio (Soídio) do programa de melhoramento genético do cajueiro.

Gen.	Produtividade			MMC			% CF			Soídio		
	Ganho	Nova média	Gen.	Ganho	Nova média	Gen.	Ganho	Nova média	Gen.	Ganho	Nova média	
33	513,40	912,14	44	2,79	12,42	13	5,14	9,62	31	0,33	1,59	
1	478,32	877,05	15	2,73	12,36	17	5,08	9,56	2	0,24	1,51	
14	451,71	850,44	17	2,59	12,23	18	4,42	8,90	33	0,21	1,47	
32	417,78	816,51	16	2,49	12,12	48	3,88	8,36	37	0,19	1,45	
36	395,78	794,51	39	2,42	12,05	2	3,53	8,01	13	0,18	1,44	
35	367,65	766,39	1	2,33	11,97	6	3,29	7,77	30	0,17	1,43	
38	346,91	745,64	14	2,23	11,86	24	3,12	7,60	34	0,17	1,43	
49	330,62	729,35	10	2,14	11,77	21	2,99	7,47	27	0,16	1,42	
6	317,94	716,67	12	2,02	11,65	8	2,87	7,63	24	0,15	1,42	
29	305,59	704,32	18	1,93	11,56	27	2,78	7,26	43	0,15	1,41	
31	294,07	692,36	38	1,85	11,48	5	2,63	7,11	11	0,15	1,41	
15	284,16	682,90	9	1,78	11,40	11	2,50	6,98	29	0,14	1,40	
37	273,63	672,36	13	1,71	11,33	47	2,37	6,85	1	0,14	1,40	

Tabela 3. Continuação.

Gen.	Produtividade			MMC			% CF			Sócio		
	Ganho	Nova média	Gen.	Ganho	Nova média	Gen.	Ganho	Gen.	Nova média	Ganho	Gen.	Nova média
13	261,01	659,74	35	1,64	11,27	22	2,24	19	6,72	0,13	19	1,39
22	249,71	648,44	6	1,58	11,21	28	2,13	49	6,61	0,13	49	1,39
12	239,76	638,49	11	1,53	11,16	20	2,03	9	6,51	0,13	9	1,38
24	230,77	629,51	30	1,47	11,11	15	1,93	15	6,41	0,12	15	1,38
11	220,21	618,94	4	1,41	11,04	9	1,83	35	6,32	0,12	35	1,37
10	210,64	609,37	34	1,36	10,99	29	1,73	40	6,22	0,12	40	1,37
40	201,66	600,39	5	1,30	10,94	37	1,64	32	6,12	0,11	32	1,36
39	192,02	590,76	37	1,25	10,88	41	1,55	48	6,03	0,11	48	1,36
34	182,53	581,27	29	1,20	10,83	42	1,47	36	5,95	0,10	36	1,35
42	173,60	572,33	31	1,16	10,79	40	1,39	20	5,87	0,10	20	1,35
47	165,01	563,75	40	1,12	10,75	1	1,31	42	5,79	0,09	42	1,35
44	156,91	555,64	48	1,08	10,71	25	1,24	5	5,72	0,08	5	1,34
27	148,74	547,47	25	1,04	10,67	36	1,17	12	5,65	0,08	12	1,34
48	140,58	539,31	32	0,99	10,63	26	1,11	25	5,59	0,07	25	1,33

Tabela 3. Continuação.

Gen.	Produtividade			MMC			% CF			Soídio				
	Ganho	Nova média	Gen.	Ganho	Nova média	Gen.	Ganho	Nova média	Gen.	Ganho	Nova média	Gen.	Ganho	Nova média
5	132,69	531,43	47	0,95	10,58	3	1,04	5,52	39	0,07	1,33			
3	125,24	523,98	49	0,91	10,54	49	0,98	5,46	8	0,06	1,33			
21	117,74	516,47	3	0,86	10,49	10	0,93	5,41	44	0,06	1,32			
23	110,71	509,45	33	0,81	10,45	23	0,87	5,35	10	0,06	1,32			
30	103,74	502,48	36	0,77	10,40	14	0,82	5,30	38	0,05	1,32			
41	97,16	495,89	8	0,73	10,36	4	0,77	5,25	46	0,05	1,31			
43	90,61	489,34	19	0,68	10,32	31	0,71	5,20	4	0,05	1,31			
25	84,39	483,13	7	0,64	10,27	38	0,66	5,14	14	0,04	1,31			
20	78,40	477,14	28	0,60	10,23	46	0,61	5,09	47	0,04	1,30			
18	72,70	471,43	20	0,56	10,19	7	0,56	5,04	18	0,04	1,30			
2	66,82	465,55	2	0,52	10,15	39	0,51	4,99	23	0,03	1,30			
9	61,12	459,85	43	0,48	10,11	12	0,46	4,94	3	0,03	1,30			
46	55,65	454,39	42	0,44	10,07	35	0,41	4,89	21	0,03	1,29			
16	50,34	449,07	41	0,39	10,02	30	0,37	4,85	22	0,02	1,29			

Tabela 3. Continuação.

Gen.	Produtividade			MMC			% CF			Soídio		
	Ganho	Nova média	Gen.	Ganho	Nova média	Gen.	Ganho	Gen.	Nova média	Ganho	Gen.	Nova média
26	44,62	443,36	23	0,35	9,98	32	0,32	28	4,80	0,02	28	1,28
45	38,99	437,73	24	0,30	9,93	34	0,27	16	4,75	0,02	16	1,28
28	33,08	431,81	27	0,26	9,89	33	0,23	17	4,71	0,01	17	1,28
4	27,17	425,91	45	0,21	9,85	43	0,18	41	4,66	0,01	41	1,27
8	20,52	419,26	46	0,16	9,79	16	0,13	45	4,61	0,01	45	1,27
19	13,74	412,47	26	0,11	9,74	45	0,08	26	4,57	0,01	26	1,27
17	7,19	405,93	22	0,05	9,68	19	0,04	6	4,52	0,01	6	1,26
7	0,00	398,74	21	0,00	9,63	44	0,00	7	4,48	0,00	7	1,26

Gen.: Genótipos.

Nenhuma progênie dessa população apresentou valores favoráveis à seleção para os quatro caracteres conjuntamente. Ressalta-se aqui o quão difícil é, nesse primeiro ciclo de seleção recorrente, encontrar a progênie agronomicamente adequada. Assim, espera-se que a partir do segundo ciclo de recombinação surjam novas combinações mais interessantes ao programa de melhoramento genético da cultura.

Conclusões

Um valor alto da estimativa de repetibilidade de um caráter ($PROD = 0,90$; $PMC = 0,84$) indica que é possível prever o valor real do indivíduo com um número relativamente pequeno de medições, sendo variável com a natureza do caráter, com as particularidades genéticas da população e com as condições ambientais sob as quais os indivíduos são avaliados.

Para a obtenção de predições com confiabilidade $\geq 90\%$, são necessárias três avaliações para produtividade de castanha (PROD) e quatro avaliações para massa média de castanha (MMC). Entretanto, para a porcentagem de castanhas furadas (PCF) e severidade do oídio na castanha (Soídio), mesmo com 10 avaliações não se conseguiria obter um nível de confiabilidade desejável.

Agradecimentos

Ao Professor Antônio Augusto Franco Garcia, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), por sua contribuição na construção da informação que traz a permissividade seletiva para comparação dos resultados entre estudos genéticos no item resultados e discussão deste trabalho.

Referências

CAMPOS, J. F.; CARNEIRO, A. P. S.; PETERNELLI, L. A.; CARNEIRO, J. E. S.; SILVA, M. J. da; CECON, P. R. Classificação de famílias do feijoeiro sob diferentes cenários de dependência espacial e precisão experimental. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 2, p. 105-111, 2016.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2012. 668 p.

CAVALCANTI, J. J. V.; PAIVA, J. R. de; BARROS, L. de M.; CRISÓSTOMO, J. R.; CORRÊA, M. P. F. **Repetibilidade e número de avaliações necessárias à seleção de clones de cajueiro-anão precoce**. Fortaleza: Embrapa-CNPAT, 1999. 12 p. (Embrapa-CNPAT. Boletim de Pesquisa, 23). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/421973/1/Bp023.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2020.

DIAS, L. A. S. **Repetibilidade e capacidade de combinação em cacau (*Theobroma cacao* L.) nas condições do Sul da Bahia**. 111 f. 1992. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MAIA, M. C. C.; RESENDE, M. D. V.; OLIVEIRA, L. C.; VASCONCELOS, L. F. L.; LIMA NETO, J. F. P. Análise Genética em Genótipos de Manga Rosa via REML/BLUP. **Revista Agrotecnologia**, v. 5, n. 1, p. 1-16, 2014.

MAIA, M. C. C.; ARAUJO, M. F. C.; ARAÚJO, L. B.; DIAS, C. T. S.; OLIVEIRA, L. C.; CRUZ, C. D.; VASCONCELOS, L. F. L.; MACEDO, L. M.; YOKOMIZO, G. K. I.; LIMA, P. S. C. Genetic Divergence Among a Breeding Population of *Hancornia Speciosa* Gomes (Mangabeira) as Determined by Multivariate Statistical Methods. **European Scientific Journal**, v. 14, n. 15, p. 421-433, 2018.

MAIA, M. C. C.; ALMEIDA, A. S.; ARAUJO, L. B.; DIAS, C. T. S.; OLIVEIRA, L. C.; YOKOMIZO, G. K. I.; ROSADO, R. D.; CRUZ, C. D.; VASCONCELOS, L. F. L.; LIMA, P. S. C.; MEDINA-MACEDO, L. Principal Component and Biplot Analysis in the Agro-industrial Characteristics of *Anacardium* spp. **European Scientific Journal**, v. 15, n. 30, p. 21-31, 2019.

MAIA, M. C. C.; ARAÚJO, L. B.; DIAS, C. T. S.; OLIVEIRA, L. C.; VASCONCELOS, L. F. L.; LIMA, P. S. C. Early selection in a population of the mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes). **Agro@ambiente on-line**, v. 4, p. 1-13, 2020.

MELO, D. S.; VIDAL NETO, F. C.; BARROS, L. M.; SERRANO, L. A. L.; TEIXEIRA, A. S. **Protocolo para avaliações de plantas e de castanhas do Programa de Melhoramento Genético do Cajueiro da Embrapa Agroindústria Tropical**. Fortaleza-CE: Embrapa Agroindústria Tropical/CLP, 2018 (Comunicado Técnico, 245).

MELO, D. S.; VALE, J. C.; MACHADO, I. P.; VIDAL NETO, F. C.; BARROS, L. de M. **Seleção entre e dentro de progênies de meios-irmãos de cajueiro via REML/BLUP**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2020. 21 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 198). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1120815/1/BP198.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2020.

MRODE, R. A. **Linear models for the prediction of animal breeding values**. 3 ed.

Cambridge: Cabi, 2014. 360 p.

NEVES, L. G.; BRUCKNER, C. H.; CRUZ, C. D.; BARELLI, M. A. A. Avaliação da repetibilidade no melhoramento de famílias de maracujazeiro. **Revista Ceres**, v. 57, n. 4, p. 480-485, 2010.

PEREIRA, T. B.; CARVALHO, J. P. F.; BOTELHO, C. E.; RESENDE, M. D. V.; REZENDE, J. C.; MENDES, A. N. G. Eficiência da seleção de progênies de café F4 pela metodologia de modelos mistos (REML/BLUP). **Bragantia**, v. 72, n. 3, p. 230-236, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/brag.2013.031>.

PINHEIRO, D. S.; MAIA, M. C. C.; MOUSINHO, F. E. P.; OLIVEIRA, L. C.; ROSADO, D. S.; YOKOMIZO, G. K. I. Repeatability estimation for mangaba selection using mixed models. **Agro@ambiente On-line**, v. 13, p. 243-255, 2019.

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

RESENDE, M. D. V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 561 p.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.

RESENDE, M. D. V. Software Selegen-REML/BLUP: an useful tool for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, p. 330-339, 2016.

STORCKL, L.; SILVA, M. S. Precisão experimental de ensaios de trigo analisados pelo método de Papadakis. **Ciência Rural**, v. 44, n. 3, p. 407-413, 2014.

STURION, J. A.; RESENDE, M. D. V. Avaliação genética e análise de deviance em um teste desbalanceado de procedência e progênie de *Ilex paraguariensis*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 62, p. 57-160, 2010.

TURNER, H. N.; YOUNG, S. Y. **Quantitative genetics in sheep breeding**. Ithaca: Cornell University Press, 1969. 331 p.

VIANA, B. L.; MELLO, A. C. L.; LIRA, M. A.; DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; SANTOS, M. V. F.; CUNHA, M. V.; FERREIRA, G. D. G. Repetibilidade e respostas de características morfofisiológicas e produtivas de capim-elefante de porte baixo sob pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 1731-1738, 2009.

Embrapa

Agroindústria Tropical

CGPE 017481



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO

