

**ÂNGELA DE FÁTIMA BARBOSA ABREU**

**PREDIÇÃO DO POTENCIAL GENÉTICO DE POPULAÇÕES  
SEGREGANTES DO FEJJOEIRO UTILIZANDO  
GENITORES INTER-RACIAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras,  
como parte das exigências do Curso de Doutorado em  
Agronomia, área de concentração em Genética e  
Melhoramento de Plantas para obtenção do título de  
"Doutor".

**Orientador**

**Prof. DR. MAGNO ANTONIO PATTO RAMALHO**



**LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
1997**

Ficha Catalográfica preparada pela Seção de Classificação e Catalogação da  
Biblioteca Central da UFLA

Abreu, Ângela de Fátima Barbosa

Predição do potencial genético de populações segregantes do feijoeiro  
utilizando genitores inter-raciais / Ângela de Fátima Barbosa Abreu. — Lavras :  
UFLA, 1997.

79 p. : il.

Orientador: Magno Antonio Patto Ramalho.

Tese (Doutorado) - UFLA.

Bibliografia.

1. Feijão - Phaseolus vulgares - Raça. 2. Genitor. 3. Dialelo. 4. Divergencia  
genetica. 5. População. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-635.6523

**ÂNGELA DE FÁTIMA BARBOSA ABREU**

**PREDIÇÃO DO POTENCIAL GENÉTICO DE POPULAÇÕES  
SEGREGANTES DO FEIJOEIRO UTILIZANDO  
GENITORES INTER-RACIAIS**

**Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras,  
como parte das exigências do Curso de Doutorado em  
Agronomia, área de concentração em Genética e  
Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de  
"Doutor".**

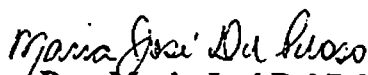
**APROVADA EM 16 DE DEZEMBRO DE 1997**



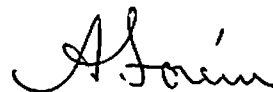
**Prof. Dr. Daniel Furtado Ferreira**



**Prof. Dr. João Bosco dos Santos**



**Pesq. Dra. Maria José Del Peloso**



**Prof. Dr. Aluizio Borém**



**Prof. Dr. Magno Antonio Patto Ramalho  
Orientador**

**AOS MEUS PAIS FRANCISCO E MARIA;**

**AO MEU ESPOSO ANTÔNIO HAMILTON;**

**AOS MEUS FILHOS MARCELO, FERNANDA E GUILHERME;**

**AOS MEUS IRMÃOS ALZIRA, REGINA, GLÓRIA E TARCISO;**

**AOS MEUS CUNHADOS EDMUNDO, JOAQUIM E RAQUEL;**

**AOS MEUS SOBRINHOS LEANDRO, BRUNO, FABIANA,**

**FLÁVIA, MELISSA E GABRIELA.**

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por mais esta etapa vencida.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) pela liberação para realização do curso de Doutorado.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) pela oportunidade concedida.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo financiamento desse trabalho.

Ao professor Magno Antonio Patto Ramalho pelo seu exemplo de dedicação e persistência no trabalho, pela amizade e confiança, pela segura e dedicada orientação, pelos ensinamentos transmitidos e disponibilidade dentro e fora da Universidade, sempre nos estimulando em nossa vida estudantil e profissional.

Ao professor Daniel Furtado Ferreira pela disponibilidade e excelentes contribuições, sábia e dedicada co-orientação, amizade e ensinamentos transmitidos.

Ao professor João Bosco dos Santos pela participação, importantes sugestões apresentadas, amizade e ensinamentos transmitidos.

À pesquisadora Maria José Del Peloso e ao professor Aluizio Borém pela disponibilidade em participarem da banca e pelas importantes contribuições apresentadas.

À professora Elaine Aparecida de Souza pela amizade, atenção e sugestões apresentadas.

À professora Cristina Mendes Costa pela amizade e ensinamentos transmitidos.

Aos colegas e amigos Flávia Avelar, Oswaldo e Pedro Hélio pelo convívio, amizade e espírito de colaboração. Que os momentos que passamos tanto dentro quanto fora da Universidade jamais sejam esquecidos.

Aos demais colegas e amigos do Curso de Genética e Melhoramento de Plantas: Hércules, Hélia, Leandro, Flávia França, Sandro, Francislei, Glauber, Moacil, Jaime, João Cândido, Leonardo, Patrícia, Giovana, Edwin, Max, Claudomiro, Carlota, Luis, Wilton, Haroldo, Gustavo, Cíntia, Juscélio, Cícero, Jair, Vânia, Bárbara, Everton, Fausto, Gabriela, Mívia, Delly, Cristina, Oneida, Joelson, André, André Ramalho, Antônio Carlos, João Luis, Raimundo e Renzo pelo convívio e amizade.

Aos alunos de Iniciação Científica: Eduardo, Edvandro, Vilacildo, Paulo Sérgio, Luis, Viviane, Roberta, Geovane, Glaydes, Priscila, Dyeme e Juliana pela ajuda e amizade.

Aos funcionários da EPAMIG, Vicente (Fazenda Experimental de Patos de Minas), Pedro (Fazenda Experimental de Lambari) e Arlindo (Fazenda Experimental de Lávras) pelo auxílio na condução dos experimentos.

Aos funcionários do Departamento de Biologia Leninha, Adilson, Ester, Zélia, Irondina, e Rosângela por toda atenção dedicada.

Aos funcionários da Biblioteca Central da UFLA pelo apoio e colaboração.

Aos meus pais e irmãos que sempre me incetivaram na minha carreira profissional.

Enfim, um agradecimento muito especial ao meu esposo Antônio Hamilton e aos meus filhos Marcelo, Fernanda e Guilherme que souberam compreender e tolerar minha ausência, sempre me apoiando.

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT .....	xiii
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	4
2.1 Origem, domesticação e raças do feijoeiro .....	4
2.2 Métodos de melhoramento do feijoeiro .....	7
2.3 Métodos utilizados na escolha dos genitores em um programa de hibridação .....	13
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	21
<b>CAPÍTULO I - POTENCIAL DE POPULAÇÕES SEGREGANTES DE FEIJOEIRO PROVENIENTES DO CRUZAMENTO DE CULTIVARES DE DI- FERENTES RAÇAS .....</b>	
RESUMO.....	27
ABSTRACT.....	28
1 INTRODUÇÃO.....	29
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4 CONCLUSÕES .....	52
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
<b>CAPÍTULO II - PREDIÇÃO DO POTENCIAL GENÉTICO DE POPULAÇÕES SE- GREGANTES DE FEIJOEIRO</b>	
RESUMO.....	56
ABSTRACT .....	57
1 INTRODUÇÃO.....	58
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	59
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	63
4 CONCLUSÕES.....	73
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
APÊNDICE .....	76

## LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Principais características das raças de feijoeiro. Adaptado de Singh, Gepts e Debouck (1991).....	6
2	Principais cultivares de feijão que foram ou ainda estão sendo recomendados na Região II <sup>L</sup> do Brasil .....	9
<b>CAPÍTULO I</b>		
1	Cultivares de feijão de diferentes raças utilizadas na obtenção das populações segregantes.....	32
2	Análise dialélica conjunta da produtividade de grãos (g/parcela) das populações F <sub>4</sub> do cruzamento de pais de diferentes raças avaliadas em Lavras-MG, Patos de Minas-MG e Lambari-MG.....	37
3	Produtividade média de grãos (g/parcela) dos genitores (na diagonal), dos híbridos (acima da diagonal), capacidade específica de combinação (abaixo da diagonal) e capacidade geral de combinação ( $g_i = g_j$ ) do dialelo Mesoamérica x Mesoamérica avaliado em Lavras-MG, Lambari-MG e Patos de Minas-MG.....	40
4	Produtividade média de grãos (g/parcela) dos híbridos e dos genitores, do dialelo Mesoamérica x Durango e Jalisco avaliado em Lavras-MG, Lambari-MG e Patos de Minas-MG.....	40
5	Capacidade geral ( $g_i$ e $g_j$ ) e específica e combinação do dialelo Mesoamérica x Durango e Jalisco avaliado em Lavras-MG, Lambari-MG e Patos de Minas-MG .....	41
6	Produtividade média de grãos (g/parcela) dos híbridos e dos genitores, do dialelo Mesoamérica x Nova Granada avaliado em Lavras-MG, Lambari-MG e Patos de Minas-MG .....	42



Tabela	Página	
7	Capacidade geral; ( $g_i$ e $g_j$ ) e específica de combinação do dialelo Mesoamérica x Nova Granada avaliado em Lavras-MG, Lambari-MG e Patos de Minas-MG.....	43
8	Distância de Mahalanobis ( $D^2_{ii'}$ ) entre os genitores (acima da diagonal) e heterose em porcentagem em relação a média dos pais ( $h_{ii'}$ ) dos híbridos (abaixo da diagonal) do dialelo Mesoamérica x Mesoamérica avaliado em Lavras-MG, Lambari-MG e Patos de Minas-MG .....	44
9	Heterose dos híbridos em porcentagem em relação a média dos pais do dialelo Mesoamérica x Durango e Jalisco avaliado em Lavras-MG, Lambari-MG e Patos de Minas-MG.....	44
10	Heterose dos híbridos em porcentagem em relação a média dos pais do dialelo Mesoamérica x Nova Granada avaliado em Lavras-MG, Lambari-MG e Patos de Minas-MG .....	45
11	Distância de Mahalanobis ( $D^2_{ij}$ ) entre os genitores das raças Mesoamérica x Durango e Jalisco avaliados em Lavras-MG, Lambari-MG e Patos de Minas-MG .....	46
12	Distância de Mahalanobis ( $D^2_{ij}$ ) entre os genitores das raças Mesoamérica x Nova Granada avaliados em Lavras-MG, Lambari-MG e Patos de Minas-MG.....	47
13	Contribuição relativa, em porcentagem, de cada característica avaliada nos genitores, para a divergência genética .....	49

## CAPÍTULO II

1	Principais características dos cultivares de feijão utilizados nos cruzamentos.....	60
2	Produtividade média, em g/planta, dos genitores e das gerações $F_1$ , $F_2$ , e estimativas da variância genética da geração $F_2$ ( $\sigma^2_{G_i}$ ) e dos componentes de média ( $m + a'_i$ e $d_i$ ) de cada população $i$ .....	64
3	Análise de variância conjunta da produtividade de grãos, em g/parcela, das famílias $F_{5,7}$ do cruzamento entre cultivares de feijão, avaliadas em Lavras-MG e Patos de Minas-MG.....	67

Tabela	Página
4 Variância genética ( $\sigma_G^2$ ) e herdabilidade ( $h^2_i$ ) com seus respectivos intervalos de confiança, da produtividade de grãos (g/parcela) das famílias $F_{5;7}$ do cruzamento entre cultivares de feijão. Lavras-MG e Patos de Minas-MG.....	68
5 Produtividade média de grãos (g/parcela) dos pais ( $P_{1_i}$ e $P_{2_i}$ ) e das famílias $F_{5;7}$ de cada população $i$ e porcentagem de famílias superiores ao cultivar Carioca (PSC). Lavras-MG e Patos de Minas-MG .....	69
6 Produtividade média ( $\bar{F}_{2_i}$ ), em g/planta, e estimativas da variância fenotípica ( $\sigma_{F_i}^2$ ) da geração $F_2$ , da variância ambiental ( $\sigma_{E_i}^2$ ) e da probabilidade, em porcentagem, de obtenção de linhagens superiores ao cultivar Carioca (PSC).....	70

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
<b>CAPÍTULO I</b>	
1 Dendograma usando a distância de Mahalanonis ( $D^2$ ) para 13 cultivares de feijão de diferentes raças e para a média das raças. (1. Brasil-2; 2. A-62; 3. A-175; 4. Carioca; 5. Compuesto Negro Chimaltenango; 6. Média Mesoamérica; 7. Great Northern; 8. Flor de Mayo; 9. A-114; 10. Ojo de Liebre; 11. Apetito Blanco; 12. Média Durango e Jalisco; 13. Mont Calm; 14. Diacol Andino; 15. Perry Marrow; 16. Média Nova Granada) .....	48
<b>CAPÍTULO II</b>	
1 Distribuição de frequência da produtividade média de grãos em g/parcela, das famílias $F_{5:7}$ dos cruzamentos Carioca x Brasil-2 (a), Carioca x Flor de Mayo (b), IPA-7419 x A-114 (c) e Brasil-2 x A-114 (d) .....	71

## RESUMO

**ABREU, Ângela de Fátima Barbosa. Predição do potencial genético de populações segregantes do feijoeiro utilizando genitores inter-raciais. Lavras: UFLA, 1997. 79p. (Tese - Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas)\***

A eficiência de qualquer programa de melhoramento é dependente da escolha criteriosa dos genitores a serem envolvidos nas hibridações e/ou da identificação precoce das populações segregantes com maior potencial para a obtenção de linhagens superiores. Nesse trabalho foram avaliadas alternativas de escolha dos genitores e da predição do potencial genético de populações segregantes do feijoeiro. Para isso foram conduzidos dois trabalhos distintos. No primeiro foram realizados cruzamentos entre cultivares representando as raças Mesoamérica, Durango, Jalisco e Nova Granada, agrupados em três dialelos: distintos Mesoamérica x Mesoamérica, Mesoamérica x Durango e Jalisco, e Mesoamérica x Nova Granada. Na geração F<sub>4</sub>, as populações obtidas foram avaliadas juntamente com os genitores em Lavras-MG, Lambari-MG e Patos de Minas-MG, no delineamento látice 12 x 12 com duas repetições. Foi realizada a análise dialélica pelo método IV de Griffing (1956), estimada a divergência genética, pela distância de Mahalanobis, e a heterose em porcentagem em relação à média dos pais. Verificou-

---

\* Orientador: Magno Antônio Patto Ramalho. Membros da Banca: Daniel Furtado Ferreira, João Bosco dos Santos, Maria José Del Peloso e Aluizio Borém.

se que o cruzamento entre cultivares de feijão de diferentes raças foi mais promissor para a seleção visando aumento da produtividade de grãos. Contudo, devido a fenótipos indesejáveis para outros caracteres, tais como cor e tipo de grãos e hábito de crescimento, a chance de se obter linhagens que associem produtividade e aceitação pelos agricultores e consumidores é reduzida. A divergência genética não foi uma boa medida de escolha de genitores pois, normalmente, entre os mais divergentes estavam inclusos cultivares não adaptados. No segundo trabalho quatro populações do feijoeiro foram avaliadas nas gerações  $F_1$  e  $F_2$  juntamente com os genitores, sendo obtidas as estimativas dos componentes de médias e as variâncias. Com essas estimativas e utilizando o procedimento de Jinks e Pooni (1976), que permite estimar a probabilidade de cada população originar linhagens que superem um determinado padrão, fez-se a predição do potencial de cada população. Para verificar a eficiência das estimativas empregadas foi conduzido um experimento adicional onde avaliaram-se 62 famílias  $F_{5:7}$  de cada uma das populações nas mesmas condições. Estimou-se a herdabilidade ( $h^2$ ) em cada cruzamento e a porcentagem de famílias que superaram o cultivar considerado como padrão. Constatou-se que a estimativa do componente de média,  $m + a'$  apresentou correlação positiva e elevada com a média das linhagens na geração  $F_{5:7}$ , confirmando a eficiência dessa estimativa na predição da média das linhagens na geração  $F_{\infty}$ . A estimativa da contribuição do desvio dos heterozigotos em relação à média ( $d$ ) apresentou correlação elevada e positiva com a  $h^2$  das famílias  $F_{5:7}$ , indicando que a estimativa de  $d$  deve estar associada à variância genética entre as famílias. Houve boa concordância da porcentagem de linhagens superiores a um determinado padrão, na geração  $F_{5:7}$  e a probabilidade estimada pela metodologia de Jinks e Pooni (1976), indicando que esta metodologia é eficiente na predição precoce do potencial de populações segregantes do feijoeiro.

## **ABSTRACT**

### **PREDICTION OF THE GENETIC POTENCIAL OF SEGREGANT COMMON BEAN POPULATIONS USING INTERRACIAL PARENTS**

The efficiency of any breeding program depends on the criterial choice of the parents involved in the crosses and/or on the early identification of the segregant populations with greater potential to generate superior lines. In this work, alternatives for choosing parents and for predicting genetic potential of segregant common bean populations were evaluated. In order to do that, two distinct studies were carried out. In the first, crossings were done among cultivars representing the Mesoamérica, Durango, Jalisco and Nova Granada races, grouped in three distinct diallels: Mesoamérica x Mesoamérica, Mesoamérica x Durango and Jalisco, and Mesoamérica x Nova Granada. In the F<sub>4</sub> generation, the populations were evaluated together with its parents in Lavras-MG, Lambari-MG and Patos de Minas-MG, in a 12 x 12 lattice statistical design using two replications. The diallel analysis was done by the Griffing (1956) method IV, the genetic divergence was estimated by the Mahalanobis distance, and the heterosis, in percentage in relation to the mid parents was also estimated. It was verified

---

Guidance Committee: Magno Antônio Patto Ramalho (Major Professor), Daniel Furtado Ferreira-UFLA, João Bosco dos Santos-UFLA, Maria José Del Peloso-EMBRAPA-Arroz e Feijão, Aluizio Borém-UFV.

that the crossing among common beans from different races was more promising for the selection aiming an increase in grain productivity. However, due to undesirable phenotypes for other traits such as grain color and type and growth habit, the chances of obtaining lines that associate high yield and good acceptance by the producers and consumers are reduced. The genetic divergence was not a good measure to choose the parents because, usually, non adapted cultivars were included among the most divergent. In the second study, four bean populations were evaluated in the  $F_1$  and  $F_2$  generations together with the parents, obtaining the estimates of the mean components and the variances. With these estimates and using the Jinks and Pooni (1976) procedure, which allows to estimate the probability of each population to originate lines that surpass a determined standard, the prediction of the potencial of each population was done. To verify the efficiency of the employed estimates, an additional experiment was carried out in which 62  $F_{5;7}$  families from each population, under the same conditions, were evaluated. The heritability ( $h^2$ ) of each crossing and the percentage of families that surpassed the check cultivar were estimated. It was verified that the estimate of the mean component,  $m + a'$ , presented positive and high correlation with the lines average in the  $F_{5;7}$  generation, confirming the efficiency of this estimate in predicting the lines average in the  $F_{\infty}$  generation. The estimate of contribution of heterozygous deviations in relation to the average ( $d$ ) presented high and positive correlation with the  $h^2$  of the  $F_{5;7}$  families, indicating that the estimate of  $d$  must be associated to the genetic variance among the families. There was good agreement between the percentage of lines superior to a determined standard in the  $F_{5;7}$  generation and the probability estimated by the Jinks and Pooni (1976) methodology, indicating that this procedure is efficient for early prediction of the potential of segregant common bean populations.

## **1 INTRODUÇÃO**

O germoplasma disponível para os melhoristas de feijão inclui algumas dezenas de milhares de linhagens. Assim, a possibilidade de cruzamento entre elas é ilimitada. Além do mais, em cada cruzamento, como o número de novas linhagens a serem obtidas é variável em função do número de locos que os genitores diferem e que, portanto, irão segregar, é esperada uma infinidade de linhagens diferentes. Contudo, os melhoristas têm limitações tanto em termos de estrutura física quanto de recursos humanos, não havendo, portanto, possibilidade de se obter todas as combinações entre os genitores e avaliar o maior número de famílias de cada uma delas. Por essa razão, é constantemente aventado que o sucesso do melhoramento é dependente de procedimentos que possibilitem uma eficiente escolha dos genitores e/ou das populações segregantes em gerações precoces.

As metodologias que são utilizadas na escolha dos genitores podem ser agrupadas em duas categorias (Baenziger e Peterson, 1991): a primeira delas envolve procedimentos que utilizam apenas as informações dos genitores como o seu desempenho médio, o coeficiente de parentesco e a análise multivariada visando estimar a divergência genética; na segunda, que utiliza informações sobre o comportamento das progênes oriundas do cruzamento, tem-se os cruzamentos dialélicos, a estimativa de  $m + a$  e a metodologia proposta por Jinks e Pooni (1976).



Entre essas metodologias uma das mais utilizadas são os cruzamentos dialélicos (Ramalho, Santos e Pereira Filho, 1988; Nienhuis e Singh, 1988; Takeda, Santos e Ramalho, 1991). Contudo, esse método apresenta como grande limitação o trabalho dispendido na realização das hibridações, especialmente quando estão envolvidos um grande número de pais e se está trabalhando com espécie em que os cruzamentos artificiais são difíceis e com um pequeno número de sementes híbridas por polinização, como é o caso da cultura do feijão.

As técnicas multivariadas também têm sido freqüentemente empregadas visando escolher genitores para os programas de melhoramento com base na divergência genética entre eles (Cruz, 1990; Sarawat, Stoddard e Marshall, 1994; Ferreira et al., 1995). É esperado que os genitores mais divergentes propiciem a obtenção de populações com maior variabilidade. A principal vantagem dessa metodologia é que não há necessidade dos cruzamentos serem realizados a priori, pois são avaliados caracteres apenas dos genitores, com os quais são obtidas medidas de divergência.

Um outro método que pode ser empregado na escolha de populações segregantes promissoras a partir de informações das gerações iniciais é a estimativa de  $m + a$ , que corresponde a média de todas as possíveis linhagens que podem ser derivadas de um cruzamento, na geração  $F_{\infty}$ . Essa metodologia tem sido utilizada com freqüência na avaliação do potencial de populações de milho (Vencovsky, 1987; Vianna et al., 1982). Contudo, em plantas autógamas esse procedimento foi muito pouco utilizado. Os únicos relatos do seu emprego foram o de Singh e Urrea (1995) e o de Oliveira et al. (1996).

A população segregante ideal é aquela que associa média alta e suficiente variabilidade genética que possibilite a seleção de linhagens com desempenho superior aos pais e, conseqüentemente, o sucesso com a seleção. No caso específico do feijoeiro tem sido freqüentemente apregoado que a chance de se atingir esses objetivos é maior quando as

hibridações são realizadas entre cultivares pertencentes à raças diferentes, uma vez que é esperada maior variabilidade nas populações oriundas desses cruzamentos (Nienhuis e Singh, 1988; Singh, 1995; Urrea e Singh, 1995).

Praticamente todas as metodologias mencionadas anteriormente não permitem obter informações sobre média e variância simultaneamente. A principal alternativa nesse caso é a metodologia de Jinks e Pooni (1976). Ela estima a probabilidade de se obter linhagens superiores a um padrão na geração  $F_{\infty}$ , considerando a média e a variância de uma geração precoce. Essa metodologia já foi utilizada em algumas oportunidades como em soja (Triller, 1994) e feijão (Otubo et al., 1996). Contudo, são ainda restritas as informações que confirmem a sua eficiência.

Considerando que as informações que permitam escolher as populações segregantes superiores são fundamentais para os melhoristas de feijão esse trabalho teve por objetivos: verificar se as populações provenientes de hibridações de genitores de diferentes raças são mais promissoras do que aquelas realizadas dentro da mesma raça; avaliar a possibilidade de substituição dos cruzamentos dialélicos pelas técnicas multivariadas que estimam a divergência genética; verificar a eficácia do procedimento de Jinks e Pooni (1976) e propor alternativas que possam melhorar a sua eficiência na identificação de populações segregantes de feijoeiro superiores, a partir de informações obtidas nas gerações iniciais.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Origem, domesticação e raças do feijoeiro**

Apesar do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) ser considerado uma espécie não cêntrica, ou seja, de origem múltipla e com centros de domesticação independentes (Harlan, 1971 e 1975), é consenso que essa espécie e as demais do gênero originaram-se nas Américas. Isto porque evidências morfológicas mostram que o feijão silvestre, ancestral do feijão comum, tem uma ampla distribuição nas Américas, desde o oeste do México até o nordeste da Argentina, sendo que ao longo desta faixa observam-se diferenças morfológicas que possivelmente refletem a adaptação do feijoeiro silvestre às condições contrastantes do ambiente em que se encontra (Debouck e Tohme, 1989).

Diante deste fato, três centros de domesticação foram apontados para o feijoeiro nas Américas (Gepts e Bliss, 1986; Gepts et al., 1986): um na região central das Américas (Meso- América), onde predomina germoplasma de grãos pequenos (< 25 g/100 sementes) e faseolina do tipo S e dois na América do Sul. Um deles, no Sul dos Andes, onde os feijões apresentam sementes grandes (> 40 g/100 sementes) e faseolina T, C, e H e o outro, de menor importância, no norte dos Andes, com feijões de sementes pequenas e faseolina do tipo B.

Durante o processo de domesticação, a seleção dos tipos morfológicos pelos antigos agricultores, aliado à ampla variação no ambiente de cultivo, no que se refere a fatores

climáticos, fertilidade de solo, doenças, pragas e diferentes sistemas de semeadura, levou a um aumento da variabilidade genética dos caracteres morfológicos (Gepts e Debouck, 1991). Essa variação pode ser observada em inúmeros caracteres tais como: hábito de crescimento, dias para maturação, tamanho, cor, forma e brilho dos grãos, adaptação às condições de clima e solo e resistência às pragas e patógenos (Debouck e Hidalgo, 1985).

Em função dessa diversidade da espécie *P. vulgaris*, Singh (1989), sugeriu o agrupamento do germoplasma disponível em 12 conjuntos gênicos que posteriormente foram agrupados em seis raças (Singh, Gepts e Debouck, 1991) (Tabela 1). Com base nessas informações inúmeros trabalhos têm sido realizados mostrando a importância dessas raças nos programas de melhoramento que utilizam a hibridação (Nienhuis e Singh, 1988; Urrea e Singh, 1995; Singh e Urrea, 1995; Singh, 1995). Nesses trabalhos é evidenciado que a capacidade de combinação de um cultivar é restrita quando as hibridações são realizadas entre cultivares pertencentes a mesma raça. Populações segregantes promissoras são esperadas em cruzamentos onde um dos genitores é da raça Durango ou Jalisco (Nienhuis e Singh, 1988; Singh, Gepts e Debouck, 1991). Contudo, no caso de cruzamentos entre cultivares de grãos pequenos, Mesoamericanos, com outros de grãos grandes, do sul dos Andes, em várias oportunidades tem sido observado que muitas combinações apresentam a geração F<sub>1</sub> inviável (Singh e Gutiérrez, 1984; Gepts e Bliss, 1985; Gutiérrez e Singh, 1982; Vieira, Ramalho e Santos, 1989; White, Montes e Mendoza, 1992; Cambraia, Ramalho e Abreu, 1993).

TABELA 1: Principais características das raças de feijoeiro. Adaptado de Singh, Gepts e Debouck (1991).

Centro de Domesticação	Raça	Conjuntos gênicos	Faseolina	Hábito de crescimento <sup>LV</sup>	Características da semente
Meso-América	Mesoamérica	1, 2, 3, 4	S, Sb, B	I, II, III e IV	pequena, oval, cilíndrica
	Durango	5	S, Sd	III	média, romboédrica
	Jalisco	6	S	IV	média, redonda, cilíndrica oval
Sul dos Andes	Nova Granada	7, 8, 9	T	I, II, III	média e grande, cilíndrica
	Chile	10	C, H	III	média, redonda, oval
	Peru	11,12	T, C, H	IV	média e grande, redonda

<sup>LV</sup> I - Hábito de crescimento determinado; II - hábito de crescimento indeterminado com guias curtas; III - Hábito de crescimento indeterminado com guias longas; IV - hábito de crescimento indeterminado, prostrado ou trepador

De acordo com Singh e Gutierrez (1984), dois genes,  $Dl_1$  e  $Dl_2$ , estão envolvidos no controle da incompatibilidade. Os cultivares de sementes pequenas apresentam o genótipo  $Dl_1Dl_1dl_2dl_2$  e os de sementes grandes  $dl_1dl_1Dl_2Dl_2$ . Na geração  $F_1$  do cruzamento, dois alelos dominantes estarão presentes nos dois locos, surgindo a incompatibilidade, que é devida ao genótipo  $Dl_1dl_1Dl_2dl_2$ . Entretanto, existem cultivares, tanto de sementes pequenas, quanto de sementes grandes que não apresentam incompatibilidade. Nesse caso seus genótipos são  $dl_1dl_1dl_2dl_2$  (Cabraia, Ramalho e Abreu, 1993).

Shii et al. (1980) observaram que a incompatibilidade é influenciada pelo ambiente e pela dosagem alélica. As plantas heterozigotas ( $Dl_1dl_1Dl_2dl_2$ ) apresentam crescimento severamente reduzido sob condições de altas temperaturas. Contudo, em temperaturas mais baixas a expressão da incompatibilidade é retardada ou incompleta, o que permitiu a obtenção da

F<sub>2</sub> e o estudo da herança desse caráter. Nas plantas homozigotas, isto é, D<sub>1</sub>D<sub>1</sub>D<sub>2</sub>D<sub>2</sub>, ocorre o nanismo, que é letal.

## 2.2 Métodos de melhoramento do feijoeiro

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma espécie tipicamente autógama, uma vez que a taxa de fecundação cruzada estimada em inúmeras oportunidades foi inferior a 5 % (Pompeu, 1963; Junqueira Netto e Lasmar Filho, 1971; Ortega, 1974; Pereira Filho e Cavarani, 1984). Assim, no melhoramento dessa cultura pode-se utilizar os principais métodos de melhoramento que são comuns às autógamas, como a introdução de linhagens e/ou cultivares, a seleção em uma população constituída por uma mistura de linhas puras e o melhoramento por hibridação de duas ou mais linhagens.

Entre essas alternativas a introdução de linhagens e/ou cultivares foi a mais amplamente utilizada no Brasil e é um dos processos mais eficientes, especialmente em programas de melhoramento que estão se iniciando. No caso específico de feijoeiro, o programa do Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) teve um papel relevante no programa de melhoramento de todo o globo. Ele desenvolveu inúmeras linhagens que foram disseminadas por vários países e especificamente no Brasil foi a principal fonte de germoplasma, como evidencia a relação de alguns cultivares que foram ou ainda estão sendo recomendados em alguns Estados do Brasil (Tabela 2).

Os produtores de feijão apresentam a particularidade de não adquirirem sementes regularmente, reutilizando os grãos colhidos como sementes por várias gerações. Em consequência dos sucessivos cultivos há acúmulo de variabilidade nessas populações, que pode ser proveniente de cruzamentos naturais, misturas mecânicas e/ou de mutações. Assim, esses

materiais constituem-se excelentes populações para serem selecionadas, porque já são altamente adaptadas à região além de possuírem o tipo de grão que atende às exigências do consumidor. Dessa forma é possível selecionar cultivares melhorados nessas populações com menor dispêndio de tempo e recurso. Nesse processo pode ser adotada a seleção de plantas individuais com teste de progênie ou a seleção massal.

A seleção de plantas individuais com teste de progênie permite a obtenção de linhas puras. O procedimento consiste na seleção de um grande número de plantas com características desejáveis em uma população geneticamente heterogênea, como é o caso das variedades em uso por muitos agricultores. As progênies dessas plantas são então avaliadas em experimentos, permitindo a seleção de linhagens que podem ser lançadas como novos cultivares. Como exemplo de aplicação desse método pode ser citado o cultivar ESAL 1 proveniente da seleção de linhas puras em amostras de feijão coletadas no Estado de Minas Gerais e que apresentou produtividade de grãos superior ao material original (Ramalho, Pinto e Santa Cecília, 1982). Outro exemplo é o cultivar Manteigão Fosco 11, proveniente da seleção realizada dentro de amostras de feijão do grupo manteiga (Vieira, 1960).

A seleção massal consiste na seleção visual de um grande número de indivíduos com características fenotípicas semelhantes, que são colhidos em conjunto para formar o novo cultivar melhorado. O cultivar Carioca, que pode ser considerado um dos maiores sucessos obtidos no melhoramento do feijoeiro foi obtido por meio de seleção massal em uma lavoura na localidade Palmital no Estado de São Paulo. Após avaliado seu alto potencial produtivo em experimentos de competição de cultivares foi lançado como cultivar em 1971 (Almeida, Leitão Filho e Miyasaka, 1971) e ainda é o mais semeado entre todos os feijões de cor.

TABELA 2. Principais cultivares de feijão que foram ou ainda estão sendo recomendados na região II<sup>1</sup> do Brasil.

Cultivar	Ano de recom.	Origem <sup>2</sup>	Cor do grão
Negrilo-897	1982	CIAT	Preta
Milionário-1732	1983	CIAT	Preta
Rico-23	1959	Costa Rica	Preta
Rico-1735	1983	CIAT	Preta
Carioca	1970	IAC	Creme com estrias marrons
ESAL 1	1984	UFLA	Parda
Carioca 80	1980	IAC	Creme com estrias marrons
Diamante Negro	1991	EMBRAPA-Arroz e Feijão	Preta
Ouro Negro	1991	Honduras	Preta
Meia Noite	1994	CIAT	Preta
Rio Tibagi	1971	IAPAR	Preta
Carioca MG	1992	UFLA	Creme com estrias marrons
Aporé	1992	EMBRAPA-Arroz e Feijão	Creme com estrias marrons
Rudá	1994	CIAT	Creme com estrias marrons
Pérola	1994	EMBRAPA-Arroz e Feijão	Creme com estrias marrons
Jalo EEP 558	1980	IPEACO	Amarela
Novo Jalo	1993	EMBRAPA-Arroz e Feijão	Amarela
EMGOPA-201-Ouro	1984	CIAT	Amarela
Eriparsa-1	1984	EPAMIG	Amarela
Manteigão Fosco 11	1960	UFV	Bege
Fortuna	1985	CIAT	Bege
Ricomig	1985	CIAT	Bege
Roxo 90	1992	UFLA	Roxa
Vermelho 2157	1993	CIAT	Vermelha
Ouro Branco	1993	CIAT	Branca
BR 1-Xodó	1985	CIAT	Preta
EMCAPA 405-Goytacazes	1992	CIAT	Creme com estrias marrons
IAPAR 14	1986	IAPAR	Creme com estrias marrons
IAPAR 57	1992	IAPAR	Creme com estrias marrons
BR-IPA 11- Brigida	1994	CIAT	Creme com estrias marrons
EMCAPA 404- Serrano	1989	CIAT	Preta
EPABA 1	1984	CIAT	Bege
IPA 9	1992	CIAT	Bege

<sup>1</sup> Estados da Região II: Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Distrito Federal, Tocantins, Rondônia, Acre, Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo.

<sup>2</sup> CIAT- Centro Internacional de Agricultura Tropical; UFV- Universidade Federal de Viçosa; IAC- Instituto Agrônomo de Campinas; UFLA- Universidade Federal de Lavras; EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; EPAMIG- Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais; IAPAR- Instituto Agrônomo do Paraná; IPEACO- Instituto de Pesquisa Agropecuária do Centro Oeste.



Quando o objetivo do programa de melhoramento é reunir em um único genótipo os alelos desejáveis que se encontram em materiais distintos, a alternativa que se tem é o uso da hibridação (Allard, 1971; Fehr, 1987). Atualmente, esse tem sido o processo mais freqüentemente empregado no melhoramento do feijoeiro e para aplicá-lo existem três passos fundamentais: a escolha dos genitores a serem cruzados; como realizar as hibridações e o método de condução da população segregante.

A escolha dos genitores pode ser considerada a etapa mais crítica, pois qualquer erro nessa fase irá comprometer todo o processo, acarretando em perda de recursos e, sobretudo, de tempo. Assim, alternativas que visem a escolha mais criteriosa dos pais tem recebido a atenção de vários pesquisadores e serão tratadas com mais ênfase posteriormente.

Na realização das hibridações para obtenção das populações segregantes tem-se várias alternativas. Entre elas, uma que tem sido amplamente utilizada são os cruzamentos simples ou biparentais. Nesse caso, de um modo geral, um dos genitores é um cultivar com alta capacidade de produção e adaptação, enquanto que o outro complementa determinados atributos que faltam no anterior. Contudo, muitas vezes não é possível obter em um cruzamento simples as combinações desejadas, havendo a necessidade de serem envolvidos outros cultivares. Uma opção ampla, nesse caso é o uso de cruzamentos múltiplos. A principal limitação desses cruzamentos envolvendo vários genitores é a pequena probabilidade de obtenção de um genótipo com todos os alelos desejáveis, conforme demonstra Ramalho (1997). Este autor demonstra, considerando quatro genitores e um caráter controlado por 11 genes, que a probabilidade de obter um indivíduo com todos os alelos desejáveis, em homozigose ou heterozigose, é de  $1/49152$  na geração  $F_2$  e  $1/360448$  na  $F_3$ . Com o decorrer das autofecundações essa probabilidade é praticamente nula. Além do mais, com o decorrer das gerações e com as autofecundações sucessivas, se um alelo favorável não está presente ele nunca irá ocorrer junto

com os demais. Se forem considerados dois genes ligados, sendo um favorável e outro desfavorável, a probabilidade que ocorra recombinação entre eles, num sistema de autofecundações sucessivas também é muito pequena (Fehr, 1987). Assim, uma alternativa que tem sido utilizada mais recentemente no feijoeiro, visando aumentar a frequência de alelos favoráveis, bem como quebrar grupos de ligação indesejáveis em populações oriundas de cruzamentos envolvendo vários genitores, é a seleção recorrente (Sullivan e Bliss, 1983; Kelly e Adams, 1987; Beaver e Kelly, 1994). Por meio dela os alelos favoráveis são acumulados gradativamente através de ciclos sucessivos de seleção, seguidos de recombinação, sendo este um processo contínuo.

Na condução de uma população segregante de plantas autógamas o objetivo é selecionar no final do processo genótipos homozigóticos com alelos favoráveis no maior número de locos. Para isso existem vários métodos, como o genealógico, o da população e os modificados (Fehr, 1987; Ramalho, Santos e Zimmermann, 1993). Destes, o mais simples é o método da população ou “bulk”, que consiste na condução de uma amostra de plantas da população segregante em sucessivas gerações até ser atingido o nível desejado de locos em homozigose. As sementes usadas em cada geração de autofecundação são uma amostra do que foi colhido nas plantas da geração anterior. Durante as gerações de endogamia, o material sofre a ação da seleção natural. Assim os genótipos mais adaptados deverão deixar mais descendentes.

O método genealógico ou “pedigree” tem como princípio a seleção de plantas individuais na população segregante, bem como a avaliação de cada progênie separadamente. Apresenta como principais vantagens o controle do grau de parentesco entre os indivíduos selecionados e o descarte de indivíduos inferiores em gerações precoces. Contudo, tem como grandes desvantagens a elevada demanda de mão-de-obra e campo experimental e o fato da seleção dos indivíduos ser apenas visual. A eficiência da seleção visual tem sido contestada em

algumas oportunidades, especialmente para caracteres de baixa herdabilidade (Silva et al., 1994; Cutrim, 1997). Portanto, a seleção precoce, que é realizada no método genealógico, só é eficiente para caracteres de alta herdabilidade, pouco influenciados pelo ambiente.

Os métodos modificados têm como referência o método da população e/ou o genealógico e foram desenvolvidos como novas alternativas, visando melhorar a eficiência da seleção. Entre estes, os que têm sido mais utilizados são o descendente de uma única semente, conhecido como SSD (Single Seed Descent) (Brim, 1966) e o método massal dentro de famílias  $F_2$  (Frey, 1954).

O SSD consiste em avançar as gerações segregantes até um nível satisfatório de homozigose, tomando uma única semente de cada indivíduo de uma geração para estabelecer a geração subsequente. Nesse caso, a ação da seleção natural na condução da população segregante é anulada, uma vez que cada planta contribui com o mesmo número de descendentes para a próxima geração. Como a seleção só é realizada quando se atinge a homozigose, as combinações inferiores não são descartadas durante as gerações iniciais. Esse método é útil principalmente quando o melhorista está interessado em acelerar o processo de endogamia antes de iniciar a avaliação das linhagens (Ramalho, Santos e Zimmermann, 1993). Por este motivo ele é mais utilizado em países onde o inverno é mais rigoroso, por permitir avançar as gerações em casa de vegetação. No caso do Brasil, quanto a esse aspecto, não há muita razão para utilizá-lo, já que é possível realizar normalmente até três gerações por ano no campo.

No método massal dentro de famílias derivadas de  $F_2$ , as sementes de cada planta  $F_2$  são colhidas separadamente constituindo as famílias que serão avaliadas nas gerações seguintes. Nesse caso o efeito da seleção natural ocorre apenas dentro das famílias, sendo mantida a variação existente entre as plantas  $F_2$ . Este método tem a vantagem de permitir a avaliação das famílias desde a geração  $F_{2,3}$ , sendo a seleção realizada em função do desempenho

nas várias gerações. Assim, por permitir uma seleção mais criteriosa, este tem sido o método mais empregado no programa de melhoramento do feijoeiro da Universidade Federal de Lavras (UFLA). A diferença do método que está sendo utilizado na UFLA e o proposto por Frey (1954) é que na UFLA a avaliação em experimentos com repetições é feita desde a geração  $F_{2.3}$ .

### **2.3 Métodos utilizados na escolha dos genitores em um programa de hibridação**

Para se ter sucesso na escolha dos genitores para um programa de melhoramento, os objetivos devem ser bem claros, pois a decisão depende dos caracteres a serem melhorados, do tipo de controle genético dos caracteres e da fonte de germoplasma disponível (Fehr, 1987).

Se o caráter a ser melhorado for de herança qualitativa, isto é, controlado por poucos genes e pouco influenciado pelo ambiente, a decisão sobre os genitores é mais fácil. Nesse caso, normalmente é realizada a hibridação de um material portador do alelo de interesse com outro que apresente boas características agronômicas.

Em se tratando de caracteres quantitativos, ou seja, controlados por muitos genes e muito influenciados pelo ambiente, como é o caso da produtividade de grãos, a escolha dos genitores já não é tão simples. Estes devem ser tais que possibilitem a obtenção de populações segregantes com média alta, associada à grande variabilidade para o caráter sob seleção. Com esse objetivo várias metodologias têm sido propostas e utilizadas.

Baenziger e Peterson (1991) classificam os métodos de escolha de genitores, visando o melhoramento de um caráter quantitativo, em duas categorias: a primeira delas envolve os procedimentos que utilizam apenas as informações dos pais, como o seu desempenho médio, o coeficiente de parentesco e a análise multivariada visando estimar a divergência genética; na segunda, que utiliza informações sobre o comportamento das progênes oriundas do cruzamento,

tem-se os cruzamentos dialélicos, a estimativa de  $m + a$  e a metodologia proposta por Jinks e Pooni (1976).

Entre os métodos de escolha dos genitores utilizando o seu próprio desempenho, o mais empregado é a própria média do caráter em questão. O sucesso na sua utilização depende da ocorrência de predominância de ação gênica aditiva no controle do caráter. Esse método, apesar de importante e ser o mais utilizado, tem como desvantagem a impossibilidade de antever a variabilidade genética gerada no cruzamento, pois o fato de dois pais apresentarem média alta não implica que o híbrido entre eles irá gerar uma população segregante com variabilidade suficiente para se obter sucesso com a seleção. Isso só irá ocorrer se os pais superiores apresentarem constituição genética diferente, que resultará em uma população com muitos locos heterozigóticos (Ramalho, Santos e Zimmermann, 1993).

A avaliação do potencial de um cruzamento pelo coeficiente de parentesco tem sido realizada em algumas ocasiões (Toledo, 1992; Gizlice, Carter e Burton, 1993). Esse método considera a genealogia dos materiais a serem utilizados como genitores e também que os genótipos com menor grau de parentesco possuem maior divergência genética. Assim, é esperado que se os pais não forem aparentados, a população segregante oriunda de seu cruzamento apresente uma grande variabilidade genética. Se essa variabilidade for associada à média elevada ter-se-á grande chance de sucesso na seleção, conforme já comentado. Contudo, nem sempre é possível empregar essa metodologia, pois a genealogia do germoplasma utilizado no programa de melhoramento é muitas vezes desconhecida.

Considerando que a variabilidade é muito importante, é esperado que os genitores que difiram em características morfológicas possam também diferir nos genes para produtividade de grãos. Falconer (1987) mostra que a heterose ( $h$ ) para uma característica quantitativa é função de:  $h = \sum d y^2$ , onde  $y$  é a diferença das freqüências alélicas entre os dois genitores e  $d$  é a

contribuição dos locos em heterozigose em relação à contribuição média dos homozigotos. Assim, se os genitores não diferirem em frequência alélica e/ou se não houver dominância, não ocorrerá heterose. A partir dessa informação, desde que ocorra dominância na expressão do caráter, a heterose será tanto mais expressiva quanto maiores forem as diferenças morfológicas e agronômicas entre os pares de genitores. Essas diferenças morfológicas e agronômicas caracterizam a divergência genética, que é avaliada por meio das técnicas multivariadas. Entre essas técnicas tem-se a análise de variância multivariada, as variáveis canônicas, os componentes principais e a análise de agrupamento baseada em medidas de similaridade ou dissimilaridade (Johnson e Wichern, 1988). As medidas de dissimilaridade que tem sido mais utilizadas na escolha de genitores são a distância euclidiana e a estatística  $D^2$  de Mahalanobis (Ghaderi, Adams e Nassib, 1984; Sarawat, Stoddard e Marshall, 1994; Ferreira et al., 1995).

No caso do feijoeiro, a divergência genética tem sido utilizada para agrupar o germoplasma existente em raças, conforme já comentado (Singh, Gepts e Debouck, 1991). Nesse trabalho foram considerados vários caracteres tais como: dados de pigmentação, hábito de crescimento, características dos folíolos, vagens e grãos, bem como a reação à doenças e pragas, de um grande número de linhagens. Os resultados permitiram a separação desses genótipos nos grupos mesoamericano e andino, bem como nas raças apresentadas na tabela 1. Com base nessas informações inúmeros trabalhos têm evidenciado que a chance de se obter sucesso em um programa de melhoramento do feijoeiro é restrita quando as hibridações são realizadas entre cultivares pertencentes a mesma raça (Nienhuis e Singh, 1988; Singh, 1995; Urrea e Singh, 1995; Singh e Urrea, 1995). Populações segregantes promissoras são esperadas principalmente em cruzamentos onde um dos pais pertence à raça Durango ou Jalisco (Singh, Gepts e Debouck, 1991). No Brasil esse tipo de informação ainda é restrita uma vez que a maioria dos materiais em

cultivo pertence à raça Mesoamérica. Por essa razão o sucesso no melhoramento para produtividade de grãos, tem sido questionado em algumas ocasiões.

Entre os métodos de escolha dos genitores em função do desempenho de suas progênes, estão incluídos os cruzamentos dialélicos, a estimativa de  $m + a$  e o método de Jinks e Pooni (1976), conforme já comentado. Destes, os cruzamentos dialélicos têm sido os mais empregados em várias espécies, inclusive no feijoeiro (Ramalho, Santos e Pereira Filho, 1988; Nienhuis e Singh, 1988; Takeda, Santos e Ramalho, 1991; Otubo et al., 1996). Este método auxilia na escolha dos pais com base nos seus valores genéticos e também possibilita conhecer o controle genético dos caracteres, o qual orienta na condução das populações segregantes e na seleção (Vencovsky e Barriga, 1992; Ramalho, Santos e Zimmermann, 1993; Cruz e Regazzi, 1994).

Vários métodos foram propostos para a análise dos cruzamentos dialélicos (Jinks e Hayman, 1953; Griffing, 1956; Gardner e Eberhart, 1966). O método de Jinks e Hayman (1953) tem sido utilizado principalmente visando fornecer informações sobre o controle genético em várias espécies, inclusive no feijoeiro (Davis e Frazier, 1966; Park e Davis, 1976; Santos, Vencovsky e Ramalho, 1985). A metodologia de Gardner e Eberhart (1966), tem como principal vantagem o estudo da heterose. Já o procedimento de Griffing (1956) possibilita estimar a capacidade geral e específica de combinação dos cultivares envolvidos nos cruzamentos. A significância da capacidade geral de combinação dos genitores indica que é possível identificar genitores com potencial superior em combinações híbridas. Já a significância da capacidade específica de combinação mostra que há heterogeneidade nos cruzamentos, sendo possível identificar pares que apresentem capacidade específica de combinação que difere estatisticamente de outras. Se o modelo é aleatório, pode-se inferir sobre a ocorrência da variância aditiva e de dominância. Porém, não se tem informações da variabilidade a ser liberada em cada cruzamento.

No caso específico do feijoeiro, a importância da utilização de genitores de diferentes raças na obtenção de combinações com alta capacidade de combinação foi observada em algumas oportunidades. Nienhuis e Singh (1988) selecionaram 80 materiais, incluindo a maioria dos cultivares comerciais da América Latina e também outros materiais portadores de alelos desejáveis, visando identificar aqueles com alta capacidade geral de combinação para produtividade de grãos e seus componentes. Verificaram que 77,5 % desses, entre eles cultivares altamente produtivos e muito cultivados no Brasil, tais como Carioca e Rio Tibagi, tiveram capacidade geral de combinação zero ou negativa. Entre as 18 linhagens que apresentaram capacidade geral de combinação positiva, 17 eram linhagens melhoradas, sendo que nove destas resultaram de cruzamentos entre cultivares de sementes médias, pertencentes à raça Durango, com cultivares de sementes pequenas da raça Mesoamérica. Os autores argumentam que a divergência genética, refletida na morfologia contrastante entre os dois grupos, poderia explicar a boa complementaridade genética entre eles, o que contribuiu para uma alta capacidade geral de combinação para produtividade de grãos. Contudo, considerando que o uso de raças mesoamericanas e andinas envolve cultivares de sementes de tamanhos diferentes, em muitos casos ter-se-á limitação na realização dos cruzamentos devido à ocorrência de incompatibilidade, como já mencionado. Esse fator deverá continuar sendo uma das principais restrições à exploração máxima da divergência genética no feijoeiro.

Apesar dos cruzamentos dialélicos serem uma ferramenta muito útil que os melhoristas possuem para escolher os genitores em um programa de melhoramento por hibridação, apresentam como principal limitação o trabalho envolvido na realização das hibridações, especialmente quando estão envolvidos um grande número de pais e se está trabalhando com espécie em que os cruzamentos artificiais são difíceis e com um pequeno número de sementes híbridas por polinização, como é o caso da cultura do feijoeiro. Além disso,



também não informam sobre a variabilidade dentro de cruzamentos quando predomina o efeito aditivo dos genes.

Uma alternativa que pode ser empregada na escolha de populações segregantes e que pode ser aplicada com qualquer número de pais e/ou populações segregantes é a estimativa de  $m + a$  (Vencovsky, 1987). Em um cruzamento onde a frequência alélica dos locos que não estão fixados é 0,5, essa estimativa avalia o potencial da população segregante em relação aos locos que estão fixados, ou seja, que estão em homozigose, e corresponde à média dos pais envolvidos nos cruzamentos. Assim, uma população com maior estimativa de  $m + a$  possui, em relação à outra, maior ocorrência de locos com os alelos favoráveis em homozigose.

Para o emprego dessa metodologia basta avaliar as populações segregantes em duas gerações, podendo ser  $F_1$  e  $F_2$  ou  $F_2$  e  $F_3$ . Quanto mais precoce forem as gerações avaliadas, mais cedo poderão ser descartadas as combinações inferiores. O fundamento do método está no fato de que a média da geração  $F_1$ , proveniente de um cruzamento simples, é  $m + a + d$ , da  $F_2$  é  $m + a + \frac{1}{2}d$  e da  $F_3$ ,  $m + a + \frac{1}{4}d$ , onde  $a$  representa a soma algébrica dos locos fixados com alelos favoráveis ou desfavoráveis nos dois pais e  $d$ , a soma algébrica dos efeitos dos locos em heterozigose (Ramalho, Santos e Zimmermann, 1993). Assim,  $m + a$  pode ser estimado pela expressão  $2F_2 - F_1$  ou  $2F_3 - F_2$ . Na geração  $F_\infty$ , quando a homozigose completa for atingida, a média das linhagens será igual à  $m + a$ , pois nos locos que estão segregando os efeitos dos homozigotos se anulam. Assim, a média das  $n$  linhagens possíveis irá depender apenas dos locos que estão fixados nos parentais (Oliveira et al., 1996).

A estimativa de  $m + a$  tem sido utilizada com frequência na avaliação do potencial de populações de milho visando a extração de linhagens (Vencovsky, 1987; Vianna et al., 1982). Contudo, em plantas autógamas tem sido pouco utilizada, sendo que os únicos relatos de seu emprego foram os de Singh e Urrea (1995) e o de Oliveira et al. (1996).

Oliveira et al. (1996) realizaram um cruzamento dialélico entre seis cultivares de feijão pertencentes às raças Mesoamérica, Durango e Nova Granada. As populações segregantes foram avaliadas nas gerações  $F_2$  e  $F_3$  visando comparar metodologias de escolha dos genitores em um programa de melhoramento por hibridação. Constataram que houve coerência nos resultados obtidos pela análise dialélica e pela estimativa do parâmetro  $m + a$  das populações. Contudo, salientam que os locos que estão segregando, isto é, aqueles em que um cultivar complementa o outro, e que portanto, possibilitam os avanços com a seleção, não podem ser detectados pela estimativa de  $m + a$ . Assim, recomendam a associação dessa estimativa com a variância genética dentro da população. Isso porque populações com maior estimativa de  $m + a$ , conforme já mencionado, possuem maior frequência de locos fixados com alelos favoráveis. Já a maior estimativa de variância genética permite inferir sobre a população que apresenta maior frequência de locos segregantes.

No trabalho de Oliveira et al. (1996), também foi estimada a variância genética de cada população na geração  $F_2$ . Constataram que no cruzamento com maior estimativa de  $m + a$ , envolvendo dois cultivares da raça Durango, a estimativa da variância genética foi nula. Assim, a seleção nessa população, em termos de produtividade de grãos, seria de baixa eficiência, pois na melhor das hipóteses, seriam selecionadas linhagens com o mesmo desempenho dos pais. Nos cruzamentos envolvendo cultivares de raças diferentes as estimativas de variância genética foram, geralmente, expressivas, confirmando a observação de que materiais mais divergentes geram maior variabilidade.

Finalmente, entre os métodos de escolha dos genitores em função do desempenho de suas progênes tem-se o método de Jinks e Pooni (1976). Este método tem a vantagem de permitir prever o potencial de um dado cruzamento nas gerações iniciais utilizando médias e variâncias. Desse modo, possibilita o descarte de populações segregantes pouco promissoras

logo no início do programa, com sensível economia de tempo e de recursos. Essa metodologia se baseia no fato de que, para características quantitativas controladas por no mínimo seis genes, a distribuição fenotípica das linhagens  $F_{\infty}$ , extraídas sem seleção de um cruzamento entre duas linhagens homozigotas seguem a uma distribuição normal. Usando as propriedades de uma distribuição normal é possível estimar a probabilidade de ocorrência de linhagens com fenótipo que supere um determinado padrão. Para a sua aplicação considera-se que a média da geração  $F_2$  é igual a média da população de linhagens na geração  $F_{\infty}$  e que a variância genética dessa geração contém  $2\sigma_{G_{F_2}} = \sigma_{G_L}^2$ . Essa pressuposição é válida se não ocorrer dominância.

No feijoeiro, a estimativa dessa probabilidade foi obtida por Otubo et al. (1996) para o índice de velocidade de germinação, utilizando a geração  $F_2$ . Os autores concluíram que essa metodologia é uma boa alternativa na escolha de genitores, complementando as informações fornecidas pelos cruzamentos dialélicos.

Em soja, esse método foi aplicado por Triller (1994) utilizando a geração  $F_3$  de seis cruzamentos entre quatro genótipos. As estimativas dos potenciais genéticos foram comparadas às proporções de linhagens  $F_7$  e  $F_8$ . Os resultados mostraram que a predição do potencial genético de cruzamentos para a extração de linhas puras transgressivas usando a média e a variância dos pais e da geração  $F_3$  é de alta eficiência, principalmente para características poligênicas com herdabilidade de média a alta. Para características como produtividade de grãos, de herdabilidade geralmente baixa, essa metodologia também é eficiente. A principal restrição nesse caso é a possível ocorrência de interação genótipos x gerações (ambientes) que pode mudar a classificação das linhagens oriundas de cada população.

### 3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLARD, R. W. **Princípios do melhoramento genético de plantas**. Rio de Janeiro: Edgard Blucher, 1971. 379p.
- ALMEIDA, L. D'A de; LEITÃO FILHO, H. F.; MIYASAKA, S. Características do feijão carioca, um novo cultivar. **Bragantia**, Campinas, v.30, n.7, p.33-38, abr. 1971.
- BAENZIGER, P. S.; PETERSON, C. J. Genetic variation: Its origin and use for breeding self-pollinated species. In: STALKER, H. T.; MURPHY, J. P. **Plant breeding in the 1990' s**. Raleigh: North Carolina State Universty, 1991. p.69-100.
- BEAVER, J. S.; KELLY, J. D. Comparison of selection methods for dry beans populations derived from crosses between gene pools. **Crop Science**, Madison, v.34, n.1, p.34-37, Jan./Feb. 1994.
- BRIM, C. A. A modified pedigree method of selection in soybeans. **Crop Science**, Madison, v.6, n.2, p.220, Mar./Apr. 1966.
- CAMBRAIA, K. L.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B. Identificação de cultivares de feijão com grãos grandes e pequenos possuindo genótipos de compatibilidade. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 4, Londrina, 1993. **Resumos ...** Londrina: IAPAR, 1993. p.119.
- CRUZ, C. D. **Aplicações de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas**. Piracicaba, ESALQ/ USP, 1990. 188 p. (Tese - Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 1994. 390p.
- CUTRIM, V. dos A.; RAMALHO; M. A. P.; CARVALHO, A. M. Eficiência da seleção visual na produtividade de grãos de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.6, p.601-606, jun. 1997.

- DAVIS, D. W.; FRAZIER, W. A. Inheritance of some growth habit components in certain types of bush lines of *Phaseolus vulgaris* L.. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Beltsville, v. 88, n.2, p.384-392, June 1966.
- DEBOUCK, D. G., HIDALGO, R. Morfologia de frijol comum. In: LÓPEZ, M.; FERNANDEZ, F.; SCHOONHOVEN, A. V. **Frijol: investigación y producción**. Cali: CIAT, 1985. p.7-60.
- DEBOUCK, D. G.; TOHME, J. Implications for bean breeders of studies on the origin of common beans, *Phaseolus vulgaris* L. In: BEEBE, S. **Current topics in breeding of common bean**. Cali: CIAT, 1989. p. 3-47. ( Working Document, 47).
- FALCONER, D. S. **Introdução a genética quantitativa**. Viçosa: UFV, 1987. 279p.
- FEHR, W. R. **Principles of cultivar development**. New York: MacMillan, 1987. 525p.
- FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. de; SANTOS, M. X. dos; RAMALHO, M. A. P. Métodos de avaliação da divergência genética em milho e suas relações com os cruzamentos dialélicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.9, p.1189-1194, set. 1995.
- FREY, K. J. The use of F<sub>2</sub> lines in predicting the performance of F<sub>3</sub> selections in two barley crosses. **Agronomy Journal**, Madison, v.46, p.541-544, 1954.
- GARDNER, C O.; EBERHART, S. A. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. **Biometrics**, Raleigh, v.22, n.3, p.439-452, Sept. 1966.
- GEPTS, P.; BLISS, F. A. F<sub>1</sub> hybrid weakness in the common bean: differential geographic origin suggest two gene pools in cultivated bean germplasm. **Journal of Heredity**, Baltimore, v. 76, n.6, p. 447-450, Nov./Dec. 1985.
- GEPTS, P.; BLISS, F. A. Phaseolin variability among wild and cultivated common beans (*Phaseolus vulgaris* L) from Colombia. **Economic Botany**, New York, v. 40, n.4, p. 469-478, Oct./Dec. 1986.
- GEPTS, P.; DEBOUCK, D. Origin, domestication, and evolution of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). In: SCHOONHOVEN, A. V.; VOYSEST, O. (eds.). **Common beans: research for crop improvement**. Cali: CIAT, 1991. p. 7-53.
- GEPTS, P.; OSBORN, T. C.; RASHKA, K.; BLISS, F. A. Phaseolin protein variability in wild forms and landraces of common bean (*Phaseolus vulgaris*): evidence for multiple centers of domestication. **Economic Botany**, New York, v. 40, n.4, p. 451-468, Oct/Dec. 1986.
- GHADERI, A.; ADAMS, M. W.; NASSIB, A. M. Relationship between genetic distance and heterosis for yield and morphological traits in dry edible bean and faba bean. **Crop Science**, Madison, v. 24, n. 1, p. 37-42, Jan./Feb. 1984.

- GIZLICE, Z.; CARTER, T. E.; BURTON, J. W. Genetic diversity in North American soybeans: I. Multivariate analysis of founding stock and relation to coefficient of parentage. *Crop Science*, Madison, v.33, n.3, p.614-619, May/June 1993.
- GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal of Biological Sciences*, Melbourne, v.9, p.463-493, 1956.
- GUTIÉRREZ, J. A.; SINGH, S. P. Hybrid dwarfism in *Phaseolus vulgaris* L. and its implications in genetic improvement. *Annual Report of the Bean Improvement Cooperative*, New York, v.25, p.96-97, 1982.
- HARLAN, J. R. Agricultural origins: centers and noncenters. *Science*, Washington, v. 174, n.4008, p. 468-474, Oct. 1971.
- HARLAN, J. R. Geographic patterns of variation in some cultivated plants. *Journal of Heredity*, Baltimore, v.66, n.3, p. 184-191, May/June 1975.
- JINKS, J. L.; HAYMAN, B. I. The analysis of diallel crosses. *Maize Genetics Corporation News Letter*, Ithaca, v.27, p.48-54, 1953.
- JINKS, J. L.; POONI, H. S. Predicting the properties of recombinant inbred lines derived by single seed descent. *Heredity*, Edinburgh, v.36, n.2, p.253-266, 1976.
- JOHNSON, R.; WICHERN, D. W. *Applied multivariate statistical analysis*. 2.ed. New York: Prentice-Hall, 1988. 607p.
- JUNQUEIRA NETTO, A.; LASMAR FILHO, J. Taxa de alogamia do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) em Lavras, Minas Gerais. *Agros*, Lavras, v.1, n.1, p.19-21, jan. 1971.
- KELLY, J. D.; ADAMS, M. W. Phenotypic recurrent selection in ideotype breeding in pinto beans. *Euphytica*, Wageningen, v.36, n.1, p.69-80, Jan. 1987.
- NIENHUIS, J.; SINGH, S. P. Genetic of seed yield and its components in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) of Middle-American origins. I. General combining ability. *Plant Breeding*, Cambridge, v.101, n.2, p. 143-154, June 1988.
- OLIVEIRA, L. B.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B.; FERREIRA, D. F. Alternative procedures for parent choice in a breeding program for the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Brazilian Journal of Genetics*, Ribeirão Preto, v.19, n.4, p.611-615, Dec. 1996.
- ORTEGA, V. S. Polinización cruzada natural de la caraota. (*P. vulgaris* L.) en Venezuela. *Agronomia Tropical*, Maracay, v.24, n.3, p.227-232, maio/jun.. 1974.
- OTUBO, S. T.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B.; SANTOS, J. B. dos. Genetic control of low temperature tolerance in germination of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Euphytica*, Wageningem, v. 89, n.3, p. 313-317, Mar. 1996.

- PARK, H. G.; DAVIS, D. W. Inheritance of interlocular cavitation in a six-parent diallel cross in snap beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount, v.101, n.2, p.184-189, Mar. 1976.
- PEREIRA FILHO, T. A.; CAVARANI, C. Taxa de hibridação natural do feijoeiro comum em Patos de Minas, Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, n.9, p.1181-1183, set. 1984.
- POMPEU, A. S. Polinização cruzada natural no feijoeiro. **Bragantia**, v.22, n.1, p.53-57, jan. 1963.
- RAMALHO, M. A. P. Melhoramento do feijoeiro. In: SIMPÓSIO SOBRE ATUALIZAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS, Lavras, 1997, **Anais...** Lavras:UFLA, 1997. p.167-196.
- RAMALHO, M. A. P.; PINTO, C. A. B. P.; SANTA CECÍLIA, F. C. Avaliação de amostra de cultivares de feijão roxo e seleção de progênies. **Ciência e Prática**, Lavras, v.6, n.1, p.35-43, jan./jun. 1982.
- RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos; PEREIRA FILHO, I. A. Choice of parents for dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) breeding. I. Interactions of mean components by generation and by location. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v.11, n.2, p.391-400, June 1988.
- RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos; ZIMMERMANN, M. J. de O. **Genética quantitativa em plantas autógamias: aplicações ao melhoramento do feijoeiro**. Goiânia: UFG, 1993. 271 p.
- SANTOS, J. B. dos; VENCOSKY, R.; RAMALHO, M. A. P. Controle genético da produção de grãos e seus componentes primários em feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, n.10, p.1203-1211, out. 1985.
- SARAWAT, P.; STODDARD, F. L.; MARSHALL, D. R. Genetic distance and its association with heterosis in peas. **Euphytica**, Wageningen, v.73, n.3, p.255-264, Mar. 1994.
- SHIL, C. T.; MOK, S. R.; TEMPLE, S. R.; MOK, D. W. S. Expression of developmental abnormalities in hybrids of *Phaseolus vulgaris* L.: Interaction between temperature and allelic dosage. **The Journal of Heredity**, New York, v.71, n.4, p.219-222, July/Aug. 1980.
- SILVA, H. D.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B.; MARTINS, L. A. Efeito da seleção visual para produtividade de grãos em populações segregantes do feijoeiro. **Ciência e Prática**, Lavras, v.18, n.2, p.181-185, abr./jun.1994.
- SINGH, S. P. Patterns of variation in cultivated common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). **Economic Botany**, New York, v.43, n.1, p.39-57, Jan./Mar. 1989.
- SINGH, S. P. Selection for water-stress tolerance in interracial populations of common bean. **Crop Science**, Madison, v.35, n.1, p. 118-124, Jan/feb. 1995.

- SINGH, S. P.; GEPTS, P.; DEBOUCK, D. G. Races of common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). **Economic Botany**, New York, v.45, n.3, p.379-396, July/Sept. 1991.
- SINGH, S. P.; GUTIÉRREZ, J. A. Geographical distribution of the DL<sub>1</sub> and DL<sub>2</sub> genes causing hybrid dwarfism in *Phaseolus vulgaris* L., their association with seed size, and their significance to breeding. **Euphytica**, Wageningen, v.33, n.2, p.337-345, June 1984.
- SINGH, S. P.; URREA, C. A. Inter- and intraracial hybridization and selection for seed yield in early generations of common bean, *Phaseolus vulgaris* L. **Euphytica**, Wageningen, v.81, n.2, p.131-137, June 1995.
- SULLIVAN, J. G.; BLISS, F. A. Recurrent mass selection for increased seed yield and seed protein percentage in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) using a selection index. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, College Park, v.108, n.1, p.42-46, Jan. 1983.
- TAKEDA, C.; SANTOS, J. B. dos; RAMALHO, M. A. P. Choice of parental lines for common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) breeding. II. Reaction of cultivars and of their segregant populations to variations in different environments. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v.14, n.2, p.455-465, June 1991.
- TOLEDO, J. F. F. Mid parental and coefficient of parentage as predictor for screening among single crosses for their inbreeding potential. **Revista Brasileira de Genética**, v.15, n.2, p.429-437, June 1992.
- TRILLER, C. **Previsão do potencial genético de cruzamentos em soja pela geração F<sub>3</sub>**. Londrina: UEL/ EMBRAPA/ IAPAR, 1994. 133 p. (Dissertação - Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- URREA, C. A.; SINGH, S. P. Comparison of recurrent and congruity back crossing for interracial hybridization in common bean, **Euphytica**, Wageningen, v. 81, n.1, p. 21-26, Jan. 1995.
- VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. **Melhoramento e produção de milho no Brasil**. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987, p. 137-209.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 486 p.
- VIANNA, R. T.; GAMA, E. E. G.; NASPOLINI, V. F.; MORO, J. R.; VENCOVSKY, R. Inbreeding depression of several introduced populations of maize (*Zea mays* L.). **Maydica**, Bergamo, v.27, p.151-157, 1982.
- VIEIRA, A. L.; RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos. Crossing incompatibility in some bean cultivars utilized in Brazil. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v.12, n.1, p.169-171, Mar. 1989.



VIEIRA, C. Manteigão Fosco 11, variedade de feijão para a Zona da Mata, Minas Gerais. *Revista Ceres*, Viçosa, v.11, n.62, p.92-102, jan./jun. 1960.

WHITE, J. W.; MONTES, C.; MENDOZA, L. Y. Use of grafting to characterize and alleviate hybrid dwarfness in common bean. *Euphytica*, Wageningen, v.59, n.2/3, p.19-25, Feb. 1992.

## **CAPÍTULO I**

### **POTENCIAL DE POPULAÇÕES SEGREGANTES DE FEJJOEIRO PROVENIENTES DO CRUZAMENTO DE CULTIVARES DE DIFERENTES RAÇAS**

#### **RESUMO**

No feijoeiro, tem sido apregoado que populações provenientes do cruzamento entre cultivares de diferentes raças são mais promissoras para a seleção que aquelas de hibridações dentro da mesma raça. Visando testar essa hipótese e também verificar a possibilidade de substituição dos cruzamentos dialélicos pelas técnicas multivariadas que estimam a divergência genética foram realizados cruzamentos entre cultivares representando as raças Mesoamérica, Durango, Jalisco e Nova Granada agrupados em três dialelos distintos: Mesoamérica x Mesoamérica, Mesoamérica x Durango e Jalisco, e Mesoamérica x Nova Granada. Na geração  $F_4$ , as populações obtidas foram avaliadas juntamente com os genitores, em Lavras-MG, Lambari-MG e Patos de Minas-MG, utilizando-se o delineamento látice 12 x 12 com duas repetições. Foi realizada a análise dialélica pelo o método IV de Griffing (1956), estimada a divergência genética pela distância de Mahalanobis, e a heterose em porcentagem em relação à média dos pais. Pela estimativa da capacidade geral e específica de combinação e pela heterose verificou-se que algumas populações de cruzamentos inter-raciais foram mais

promissoras para a seleção visando aumento da produtividade de grãos. Contudo, devido a fenótipos indesejáveis para outros caracteres tais como cor e tipo de grãos e hábito de crescimento, a chance de se obter linhagens que associem produtividade de grãos e aceitação pelos agricultores e consumidores é reduzida. A divergência genética não foi uma boa medida de escolha de genitores pois, normalmente entre os mais divergentes estavam inclusos cultivares não adaptados.

## **POTENCIAL OF SEGREGANT POPULATIONS OF COMMON BEAN FROM CROSSING OF CULTIVARS OF DIFFERENT RACES**

### **ABSTRACT**

It has been said that common bean populations from crossings among cultivars of different races are more promising for selection than those from hybrids within the same race. Aiming to test this hypothesis and also to verify the possibility of substitution of diallel crossings for multivariied techniques that estimate the genetic divergence, crossings were made among cultivars representing the Mesoamerica, Durango, Jalisco and Nova Granada races, grouped in three distinct diallels: Mesoamerica x Mesoamerica, Mesoamerica x Durango and Jalisco, and Mesoamerica x Nova Granada. In the  $F_4$  generation, the populations were evaluated together with the parents in Lavras-MG, Lambari-MG and Patos de Minas-MG, in a 12 x 12 lattice design with two replications. The diallel analysis was done through the method IV of Griffing (1956), the genetic divergence estimated by Mahalanobis distance, and the heterosis in percentage in relation to the parents' average. It was verified by the estimate of the general and specific combining ability and by the heterosis that some populations of inter-racial crossings

were more promising for the selection aiming increase in grain yield. However, due to undesirable phenotypes for others traits such as grain color and type, and growth habits, the chances of obtaining lines that associate high grain yield and good acceptance by the producers and consumers is reduced. The genetic divergence was not a good measure to choose the parents because, usually among the most divergent ones non adapted cultivars were included.

## **1 INTRODUÇÃO**

O sucesso de um programa de melhoramento depende em grande parte de uma escolha criteriosa dos genitores a serem envolvidos nas hibridações. O objetivo é sempre utilizar pais que possibilitem a obtenção de populações segregantes com média alta associada à grande variabilidade para o caráter sob seleção.

Entre as metodologias empregadas na escolha dos genitores uma das mais utilizadas são os cruzamentos dialélicos (Ramalho, Santos e Pereira Filho, 1988; Nienhuis e Singh, 1988; Takeda, Santos e Ramalho, 1991). A principal limitação desse método é o trabalho envolvido na realização das hibridações, especialmente quando estão envolvidos um grande número de pais e se está trabalhando com espécie em que os cruzamentos artificiais são difíceis e com um pequeno número de sementes híbridas por polinização, como é o caso da cultura do feijoeiro.

É esperado que os genitores mais divergentes propiciem a obtenção de populações com maior variabilidade. Por esta razão técnicas multivariadas têm sido utilizadas visando escolher genitores para os programas de melhoramento por hibridação (Cruz, 1990; Sarawat, Stoddard e Marshall, 1994; Ferreira et al., 1995). A principal vantagem dessa metodologia é que

não há necessidade dos cruzamentos serem realizados a priori, pois são avaliados caracteres apenas dos genitores, com os quais são obtidas medidas de divergência.

Nesse contexto, utilizando caracteres morfológicos e informações sobre a origem e domesticação, Singh, Gepts e Debouck (1991) agruparam o feijoeiro em seis raças. Nienhuis e Singh (1988) argumentaram que a maior capacidade de combinação é esperada nos cruzamentos entre cultivares de raças diferentes. Esse fato foi constatado em algumas oportunidades (Singh et al., 1989; Singh et al, 1992; Singh e Urrea,1995; Carneiro et al., 1996). Contudo, na maioria dos casos foi utilizado um número restrito de genitores e empregadas metodologias que dificultam a generalização dos resultados.

Considerando que essas informações são fundamentais para os melhoristas de feijão foi realizado esse trabalho visando verificar se as populações provenientes de hibridações de genitores de diferentes raças são mais promissoras do que aquelas realizadas dentro da mesma raça. Avaliou-se também a possibilidade de substituição dos cruzamentos dialélicos pelas técnicas multivariadas que estimam a divergência genética.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

Foram utilizados 22 cultivares diferindo em vários caracteres e pertencendo à quatro raças diferentes (Tabela 1). Procedeu-se o cruzamento desses cultivares no esquema dialélico. Contudo devido principalmente à incompatibilidade (Gutierrez e Singh, 1982; Singh e Gutierrez, 1984), das 231 combinações possíveis foram obtidas 120. Essas populações foram avançadas pelo método massal até a geração F<sub>4</sub>. Procedeu-se a avaliação dessas populações juntamente com os pais e mais dois cultivares no delineamento látice 12 x 12 com duas repetições

em parcelas de duas linhas de 3 m espaçadas de 0,5 m, colocando-se 15 sementes por metro de sulco.

Os experimentos foram conduzidos na época da “seca” de 1994 nos seguintes municípios do Estado de Minas Gerais: Lavras (21° 14' S de latitude e 45° 00' W de longitude), Lambari (21° 58' S de latitude e 45° 22' W de longitude) e Patos de Minas (18° 35' S de latitude e 46° 31' W de longitude).

Foi empregada adubação equivalente a 400 kg/ha da fórmula 4-14-8 de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O na semeadura e 150 kg/ha de sulfato de amônio em cobertura, 20 dias após a emergência. A cultura foi submetida à irrigação por aspersão quando necessário. Os tratos culturais foram os normais para a cultura.

Nas parcelas com os pais foram amostradas cinco plantas competitivas para a avaliação das seguintes características: <sup>1</sup>comprimento e largura de cada folíolo, <sup>2</sup>dias para florescimento, <sup>3</sup>comprimento do quinto internódio, <sup>4</sup>número de vagens por planta, <sup>5</sup>número de sementes por planta, <sup>6</sup>número de sementes por vagem, <sup>7</sup>peso de cem sementes, <sup>8</sup>produção de grãos por planta e <sup>9</sup>produção de grãos por parcela. Nas demais parcelas foi obtida apenas a produtividade de grãos, em g/parcela.

Inicialmente, a produtividade de grãos, em g/parcela, foi submetida à análise de variância por local e conjunta. Considerando que para muitos genitores o número de combinações híbridas foi pequeno, foram selecionados 13 pais representativos das quatro raças, onde a maioria das combinações foram obtidas, para se proceder a análise dialélica. Essas análises foram efetuadas em três situações distintas: na primeira, foi considerado um dialelo completo entre cinco cultivares da raça Mesoamérica; na segunda, um dialelo parcial entre os mesmos cinco cultivares da raça Mesoamérica e cinco das raças Durango e Jalisco; na terceira, também um dialelo parcial entre os cinco cultivares da raça Mesoamérica e três da raça Nova Granada.

TABELA 1. Cultivares de feijão de diferentes raças utilizadas na obtenção das populações segregantes.

Cultivar	Centro de Domestição	Raça	Hábito Cresc.	Grão	
				Cor	Tamanho <sup>2</sup>
Sanilac	Meso-América	Mesoamérica	I	Branca	P
Brasil-2*	Meso-América	Mesoamérica	I	Bege	P
A-62*	Meso-América	Mesoamérica	II	Marrom	P
Porrillo Sintético	Meso-América	Mesoamérica	II	Preta	P
Jamapa	Meso-América	Mesoamérica	III	Preta	P
Milionário	Meso-América	Mesoamérica	II	Preta	P
IPA-7419	Meso-América	Mesoamérica	III	Bege	P
A-175*	Meso-América	Mesoamérica	III	Creme	P
Royo de Seda	Meso-América	Mesoamérica	III	Roxa	P
A-140	Meso-América	Mesoamérica	III	Bege	P
Carioca*	Meso-América	Mesoamérica	III	Bege c/ estrias marrom	P
CNC <sup>1</sup> *	Meso-América	Mesoamérica	IV	Preta	P
Puebla-152	Meso-América	Mesoamérica	IV	Preta	P
Great Northern*	Meso-América	Durango	III	Branca	M
Ojo de Liebre*	Meso-América	Durango	III	Bege c/ estrias marron	M
A-114*	Meso-América	Durango	III	Vinho variegada	M
Flor de Mayo*	Meso-América	Jalisco	IV	Creme e rosa	M
Apetito Blanco*	Meso-América	Jalisco	IV	Bege	M
Mont Calm*	Sul dos Andes	Nova Granada	I	Vinho	G
Jalo	Sul dos Andes	Nova Granada	III	Creme	G
Diacol Andino*	Sul dos Andes	Nova Granada	I	Vermelha c/ estrias vinho	G
Perry Marrow*	Sul dos Andes	Nova Granada	III	Branca	G

<sup>1</sup> Compuesto Negro Chimaltenango.

<sup>2</sup> P : pequeno (peso de 100 sementes < 25g);

M: médio (peso de 100 sementes de 25 - 40g);

G: grande (peso de 100 sementes > 40g).

\* Cultivares que participaram das análises dialélicas.

As análises dialélicas, efetuadas com as médias ajustadas obtidas em cada local, foram realizadas utilizando-se o método IV de Griffing (1956). Para a análise do dialelo completo foi utilizado o seguinte modelo apresentado por Ferreira, Rezende e Ramalho (1993):

$$Y_{ii'k} = m + l_k + g_i + g_{i'} + s_{ii'} + (lg)_{ik} + (lg)_{i'k} + (ls)_{ii'k} + e_{ii'k}$$

$$i < i'$$

em que:

$Y_{ii'k}$ : é a média do híbrido proveniente do cruzamento do  $i$ -ésimo e  $i'$ -ésimo cultivares do grupo ( $i, i' = 1, 2, \dots, 5$ ) no  $k$ -ésimo ambiente ( $k = 1, 2, 3$ );

$m$ : é a média dos híbridos considerando todos os ambientes;

$l_k$ : é o efeito do  $k$ -ésimo ambiente;

$g_i$  e  $g_{i'}$ : é a capacidade geral de combinação do  $i$ -ésimo e  $i'$ -ésimo cultivar do grupo, respectivamente;

$s_{ii'}$ : é a capacidade específica de combinação entre o  $i$ -ésimo e  $i'$ -ésimo cultivar do grupo;

$e_{ii'k}$ : é o erro associado a  $Y_{ii'k}$ .

Os demais parâmetros correspondem às interações com os ambientes.

Nas análises dos dialelos parciais foi utilizado modelo semelhante ao adotado para o dialelo completo, porém diferindo no índice  $i'$  que no dialelo parcial é substituído pelo índice  $j$ .

Os índices  $i$  e  $j$  referem-se aos genitores dos grupos 1 e 2, respectivamente.

No terceiro dialelo, como duas das combinações possíveis não foram obtidas foi necessário o emprego do método dos quadrados mínimos (Vencovsky e BARRIGA, 1992) para a realização da análise dialélica. As somas de quadrados das capacidades gerais de combinação foram obtidas por redução do modelo conforme apresentado por Machado (1986).



Foram estimadas as heteroses em porcentagem em relação à média dos pais pela expressão:

$$h_{i'ou\ ij}(\%) = \left[ \frac{\bar{F}_4 - \frac{\bar{P}_i + \bar{P}_{i'ou\ j}}{2}}{\frac{\bar{P}_i + \bar{P}_{i'ou\ j}}{2}} \right] \times 100$$

onde:

$h_{i'ou\ ij}(\%)$ : heterose em porcentagem;

$\bar{F}_4$ : produção média da geração  $F_4$  do cruzamento do pai  $i$  com o pai  $i'$  ou  $j$ ;

$\bar{P}_i$ ,  $\bar{P}_{i'}$  ou  $\bar{P}_j$ : produção média do pai  $i$ , pai  $i'$  e pai  $j$ , respectivamente;

Utilizando os dados das 14 características avaliadas nos 13 pais submetidos à análise dialélica realizou-se a análise de variância multivariada conjunta com o auxílio do PROC GLM do SAS®, com a finalidade de se estimar a matriz de somas de quadrados e produtos do erro (E).

Como medida de dissimilaridade foi utilizada a distância generalizada de Mahalanobis ( $D^2_{i'ou\ ij}$  ou  $D^2_{ij}$ ) que é dada por:

$$D^2_{i'ou\ ij} = (X_i - X_{i'ou\ j})' E^{-1} (X_i - X_{i'ou\ j})$$

onde:

$X_i$ ,  $X_{i'}$  e  $X_j$ : são os vetores médias associados aos cultivares  $i$ ,  $i'$  e  $j$ ,

respectivamente;

$E^{-1}$ : é a inversa da matriz de covariância residual obtida na análise de variância multivariada.

Para a análise de agrupamento foi utilizado o método hierárquico aglomerativo do vizinho mais próximo apresentado por Johnson e Wichern (1988).

Com o objetivo de verificar a possibilidade de substituição dos cruzamentos dialélicos pelas técnicas multivariadas foram obtidas as correlações de Pearson entre  $D_{ii'ou ij}^2$  e as estimativas das capacidades específicas de combinação de cada par de genitores ( $s_{ii'ou ij}$ ),  $D_{ii'ou ij}^2$  e  $h_{ii'ou ij}(\%)$  e entre  $s_{ii'ou ij}$  e  $h_{ii'ou ij}(\%)$ .

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente é preciso salientar, como já comentado, que nem todas as combinações planejadas entre os pais foram obtidas devido principalmente à ocorrência de incompatibilidade. Esse fenômeno ocorre normalmente nos cruzamentos entre linhagens de grãos grandes com outras de grãos pequenos (Vieira, Ramalho e Santos, 1989; Gutierrez e Singh, 1982; Singh e Gutierrez, 1984). As sementes híbridas são obtidas, porém a planta  $F_1$  logo após a emergência apresenta clorose e crescimento reduzido, podendo ocorrer até a morte das plantas, principalmente sob condições de temperaturas mais elevadas (Shii et al., 1980; Koinange e Gepts, 1992). Sendo assim, como faltaram muitas combinações híbridas para a realização da análise do dialelo completo com os 22 pais, optou-se pela subdivisão nos três grupos apresentados anteriormente. Essa subdivisão permitiu testar a principal hipótese desse trabalho, ou seja, verificar se o cruzamento de cultivares de diferentes raças é mais promissor que entre cultivares dentro de uma mesma raça.

As produtividades médias e os resultados das análises da variância por local e conjunta envolvendo todos os materiais avaliados estão apresentadas nas tabelas 1A, 2A e 3A. Observa-se que os coeficientes de variação foram mais altos do que os normalmente obtidos para

a cultura do feijoeiro (Abreu et al., 1994; Estefanel, Pinhtaro e Storck, 1987). Contudo, deve ser ressaltado que a maioria dos materiais eram introduzidos e, portanto, mal adaptados às condições dos locais em que foram avaliados. Além disso, como foram avaliadas populações segregantes  $F_4$ , com grande variação genética dentro, essa variação fica incluída na variância fenotípica dentro da parcela e, conseqüentemente, inflaciona a estimativa do erro.

Um outro comentário necessário é que no Brasil há predominância na utilização de cultivares do tipo carioca, isto é, de grãos creme com estrias marrons. Esses materiais pertencem à raça Mesoamérica e, portanto, a maior ênfase nesse trabalho foi em avaliar a capacidade de combinação dos pais dentro dessa raça e entre eles com os cultivares das outras. Os resultados obtidos nas análises dialélicas mostraram efeito significativo para as fontes de variação locais, cruzamentos e interação locais x cruzamentos (Tabela 2). O desdobramento da fonte de variação cruzamentos em função da análise dialélica efetuada mostrou haver variação entre os cruzamentos em todos os casos. O efeito de cruzamentos em cada dialelo foi ainda desdobrado em capacidade geral (CGC) e capacidade específica (CEC) de combinação.

No dialelo completo entre os genitores da raça Mesoamérica observou-se que houve efeito significativo ( $P \leq 0,05$ ) tanto da CGC quanto da CEC. Verificou-se também que essas duas fontes de variação apresentaram magnitudes semelhantes dos quadrados médios, indicando que elas contribuem igualmente para explicar a variação constatada nesse dialelo. Não foi verificada interação entre a CGC x locais, nem entre CEC x locais.

TABELA 2. Análise dialélica conjunta da produtividade de grãos (g/parcela) das populações F<sub>4</sub> do cruzamento de pais de diferentes raças avaliadas em Lavras-MG, Patos de Minas-MG e Lambari-MG.

FV	GL	QM	P*
Locais (L)	2	64309,194	0,000
Cruzamentos (C)	47	18585,257	0,000
Dialelo M <sup>1/</sup> x M	9	14530,330	0,006
CGC	4	13192,311	0,050
CEC	5	15600,744	0,016
Dialelo M x D <sup>2/</sup> e J <sup>3/</sup>	24	16904,537	0,000
CGC (M)	4	45134,253	0,000
CGC (D e J)	4	24403,587	0,002
CEC	16	7972,345	0,116
Dialelo M x NG <sup>4/</sup>	12	10566,030	0,031
CGC (M)	4	8839,500	0,172
CGC (NG)	2	16339,500	0,053
CEC	6	9578,000	0,110
Entre Grupos	2	105116,431	0,000
C x L	94	8144,468	0,006
(Dialelo M x M) x L	18	9262,607	0,040
CGC x L	8	9635,978	0,086
CEC x L	10	8963,911	0,096
(Dialelo M x D e J) x L	48	7791,512	0,042
CGC (M) x L	8	18540,103	0,001
CGC (D e J) x L	8	10200,687	0,066
CEC x L	32	4502,070	0,750
(Dialelo M x NG) x L	24	5516,094	0,462
CGC (M) x L	8	8202,375	0,159
CGC (NG) x L	4	8743,500	0,177
CEC x L	12	2907,417	0,896
Entre Grupos x L	4	23118,559	0,002
Resíduo	385	5505,475	
Média		326,000	
CV (%)		32,34	

<sup>1/</sup> Mesoamérica; <sup>2/</sup> Durango; <sup>3/</sup> Jalisco; <sup>4/</sup> Nova Granada.

\* Nível de significância do teste F.

No dialelo parcial entre os cultivares da raça Mesoamérica com Durango e Jalisco, apenas as CGC's para ambos os grupos de genitores mostraram-se significativas. Vale ressaltar que, nesse caso, a magnitude do quadrado médio da CEC foi inferior às observadas para as CGC's, indicando que essa fonte de variação teve participação menos expressiva na explicação da variação entre os cruzamentos dessas raças. Apenas a interação entre CGC x locais para os materiais da raça Mesoamérica foi significativa.

No terceiro tipo de dialelo, entre os genitores da raça Mesoamérica x Nova Granada, observou-se significância somente para a CGC dos cultivares da raça Nova Granada, cuja variância foi aproximadamente o dobro da raça Mesoamérica. Nenhuma das interações apresentou teste F significativo.

Como a maioria das interações dos componentes das análises dialélicas com locais foram não significativas, optou-se por apresentar as estimativas desses componentes considerando a média dos três locais.

Dos genitores da raça Mesoamérica, o cultivar Carioca foi o que apresentou a menor produtividade média de grãos associada à menor estimativa da capacidade geral de combinação,  $g_i = -57,622$  g/parcela (Tabela 3). Coerentemente com a estimativa de  $g_i$ , a média dos híbridos envolvendo esse cultivar foi a menor. No extremo oposto, o destaque foi o cultivar Compuesto Negro Chimaltenango com uma das maiores médias "per se", maior média dos seus híbridos e, conseqüentemente, com estimativa positiva e alta de  $g_i$ . Entre os outros três genitores as diferenças não foram expressivas, nem em produtividade de seus híbridos, nem nas estimativas de  $g_i$ . É oportuno salientar que a produtividade média dos pais "per se" (392 g/parcela) foi semelhante à média dos híbridos (385 g/parcela), indicando a não ocorrência de heterose média. Contudo, como já mencionado, no dialelo Mesoamérica x Mesoamérica a CEC foi significativa

indicando que é possível encontrar diferenças entre as combinações dos genitores dois a dois, ou seja, que alguns pares se complementam melhor que outros. As maiores estimativas positivas de CEC foram obtidas nos cruzamentos Carioca x Brasil-2 e A-175 x Compuesto Negro Chimaltenango.

No dialelo entre os cultivares da raça Mesoamérica x Durango e Jalisco a produtividade média dos híbridos foi 14,4 % inferior à obtida no dialelo Mesoamérica x Mesoamérica (Tabelas 3 e 4). Veja, contudo, que a diferença entre o desempenho médio “per se” dos genitores das raças Durango e Jalisco em relação aos da raça Mesoamérica foi muito mais expressiva, 24,0 %. Novamente o cultivar Carioca mostrou estimativa de  $g_i$  negativa e o Compuesto Negro Chimaltenango positiva e alta (Tabela 5). A discrepância mais expressiva foi o genitor A-62, que no dialelo anterior apresentou  $g_i$  positivo, e nesse caso, foi negativo. Em relação aos genitores das raças Durango e Jalisco, Great Northern, Apetito Blanco e A-114 apresentaram estimativas de  $g_i$  negativas, enquanto Flor de Mayo e Ojo de Liebre mostraram valores positivos, com esse último apresentando a maior estimativa.

A contribuição dos genitores do dialelo Mesoamérica x Durango e Jalisco para aumentar ou reduzir a média dos híbridos de que participam pode ser confirmada na tabela 4. Os híbridos dos cultivares Great Northern e Brasil-2 apresentaram as menores produtividades, enquanto os dos cultivares Compuesto Negro Chimaltenango, A-175 e Ojo de Liebre apresentaram as maiores. As estimativas de CEC variaram de -70,973 no cruzamento A-175 x Apetito Blanco a 89,027 no cruzamento Compuesto Negro Chimaltenango x Ojo de Liebre (Tabela 5).

TABELA 3. Produtividade média de grãos (g/parcela) dos genitores (na diagonal), dos híbridos (acima da diagonal), capacidade específica de combinação (abaixo da diagonal) e capacidade geral de combinação ( $g_i = g_j$ ) do dialelo Mesoamérica x Mesoamérica avaliado em Lavras-MG, Lambari-MG e Patos de Minas-MG.

Genitores	Brasil - 2	A - 62	A - 175	Carioca	CNC <sup>1/</sup>	Média <sup>2/</sup>
Brasil - 2	429	375	313	416	417	380
A - 62	9,167	434	425	325	431	389
A - 175	-75,278	25,278	362	308	521	392
Carioca	94,944	-7,833	-27,944	302	317	342
CNC <sup>1/</sup>	-10,500	-8,278	77,944	-59,167	433	422
$g_i$	-6,289	5,822	9,267	-57,622	48,822	

Produtividade média dos pais = 392

Produtividade média dos híbridos = 385

<sup>1/</sup> Compuesto Negro Chimaltenango

<sup>2/</sup> Produtividade média dos híbridos do genitor  $i = i'$

TABELA 4. Produtividade média de grãos (g/parcela) dos híbridos e dos genitores, do dialelo Mesoamérica x Durango e Jalisco avaliado em Lavras-MG, Lambari-MG e Patos de Minas-MG.

Genitores i \ Genitores j	Great Northern	Flor de Mayo	A - 114	Ojo de Liebre	Apetito Blanco	Média dos Genitores i	Média dos híbridos
Brasil - 2	281	293	270	278	273	429	279
A - 62	222	312	233	414	298	434	296
A - 175	368	413	243	418	300	362	388
Carioca	237	320	299	290	323	302	294
CNC <sup>1/</sup>	284	385	377	537	366	433	390
Média Genitores j	78	393	282	420	317	392	298
Média dos híbridos	278	345	324	387	312		329

TABELA 5. Capacidade geral ( $g_i$  e  $g_j$ ) e específica de combinação do dialelo Mesoamérica x Durango e Jalisco avaliado em Lavras-MG, Lambari-MG e Patos de Minas-MG.

Genitores i \ Genitores j	Great Northern	Flor de Mayo	A - 114	Ojo de Liebre	Apetito Blanco	$g_i$
Brasil - 2	52,827	-0,973	-4,040	-59,373	11,560	-50,227
A - 62	-23,040	0,827	-57,907	60,760	19,360	-33,693
A - 175	30,960	9,160	59,427	-28,573	-70,973	58,973
Carioca	-6,307	10,893	10,493	-61,840	46,760	-35,427
CNC <sup>V</sup>	-54,440	-19,907	-7,973	89,027	-6,707	60,373
$g_j$	-50,800	15,240	-5,027	57,893	-17,290	

<sup>V</sup> Compuesto Negro Chimaltenango

No dialelo Mesoamérica x Nova Granada, das três combinações possíveis com o cultivar Carioca, duas não foram compatíveis. Constata-se novamente que a média dos híbridos foi 28,8 % inferior à observada no dialelo Mesoamérica x Mesoamérica (Tabelas 3 e 6). Também nesse caso a produtividade dos cultivares da raça Nova Granada foi 33,9 % inferior à dos cultivares da raça Mesoamérica. O destaque foi o genitor Mont Calm com maior estimativa de  $g_i$  quando se considera a raça Nova Granada (Tabela 7). Para os materiais da raça Mesoamérica o comportamento foi semelhante aos relatados anteriormente. As estimativas das CEC variaram de -91,306 no cruzamento A-62 x Mont Calm a 65,611 no cruzamento A-62 x Diacol Andino.



TABELA 6. Produtividade média de grãos (g/parcela) dos híbridos e dos genitores, do dialelo Mesoamérica x Nova Granada avaliado em Lavras-MG, Lambari-MG e Patos de Minas-MG.

Genitores j Genitores i	Mont Calm	Diacol Andino	Perry Marrow	Média dos Genitores i	Média dos híbridos
Brasil - 2	330	197	218	429	248
A - 62	198	283	269	434	250
A - 175	333	239	280	362	284
Carioca	---	---	244	302	244
CNC <sup>1/</sup>	403	254	313	433	323
Média Genitores j	250	269	257	392	
				259	
Média dos híbridos	316	243	265		274

As estimativas das heteroses em porcentagem em relação à média dos pais foram coerentes com as estimativas das CEC. No dialelo Mesoamérica x Mesoamérica observou-se que os pares Compuesto Negro Chimaltenango x A-175, Carioca x Brasil-2 e A-175 x A-62 foram os que apresentaram heterose positiva (Tabela 8). Nas demais combinações as estimativas foram negativas, ou seja, os híbridos produziram menos que a média dos pais. Na média de todos os híbridos envolvendo um determinado genitor apenas no caso do cultivar A-175 e Compuesto Negro Chimaltenango as heteroses médias foram positivas, porém, de pequena magnitude.

TABELA 7. Capacidade geral ( $g_i$  e  $g_j$ ) e específica de combinação do dialelo Mesoamérica x Nova Granada avaliado em Lavras-MG, Lambari-MG e Patos de Minas-MG.

Genitores j \ Genitores i	Mont Calm	Diacol Andino	Perry Marrow	$g_i$
Brasil - 2	42,250	-18,167	-24,083	-26,301
A - 62	-91,306	65,611	25,694	-24,412
A - 175	8,694	-11,389	2,694	9,588
Carioca	---	---	0,000	-23,385
CNC <sup>1/</sup>	40,361	-36,056	-4,306	48,924
$g_j$	40,256	-32,660	-6,077	

<sup>1/</sup> Compuesto Negro Chimaltenango

Dos cruzamentos Mesoamérica x Durango e Jalisco, aproximadamente cinquenta por cento apresentaram heterose positiva (Tabela 9). Entre os materiais da raça Mesoamérica, novamente os híbridos do cultivar A-175 foram os que apresentaram, em média, maior heterose. Dos genitores das raças Durango e Jalisco, merece destaque o cultivar Great Northern, onde quatro dos seus cinco híbridos apresentaram heterose positiva. Contudo, essa medida de heterose deve ser tomada com ressalva, uma vez que é diretamente dependente da média dos pais. Assim, as heteroses positivas dos cruzamentos com Great Northern podem ser atribuídas ao péssimo desempenho desse material, que apresentou produtividade média de apenas 23,7 % da média do experimento, devido principalmente à sua alta suscetibilidade ao *Colletotrichum lindemuthianum*.

Nos híbridos Mesoamérica x Nova Granada apenas os pares A-175 x Mont Calm e Compuesto Negro Chimaltenango x Mont Calm apresentaram heterose positiva. Na média dos cruzamentos todas as estimativas foram negativas (Tabela 10).

TABELA 8. Distância de Mahalanobis ( $D^2_{ii'}$ ) entre os genitores (acima da diagonal) e heterose em porcentagem em relação a média dos pais ( $h_{ii'}$ ) dos híbridos (abaixo da diagonal) do dialelo Mesoamérica x Mesoamérica avaliado em Lavras-MG, Lambari-MG e Patos de Minas-MG.

Genitores	Brasil - 2	A - 62	A - 175	Carioca	CNC <sup>V</sup>	$\bar{D}^2_{ii'}$
Brasil - 2		1,333	1,230	1,146	1,051	1,190
A - 62	-13,1		0,494	0,750	0,100	0,669
A - 175	-21,0	6,7		0,171	0,479	0,593
Carioca	13,7	-11,7	-7,3		0,647	0,678
CNC <sup>V</sup>	-3,2	-0,5	30,9	-13,7		0,569
$\bar{h}_{ii'}$	-5,9	-4,6	2,3	-4,8	3,4	0,740 -1,92

<sup>V</sup> Compuesto Negro Chimaltenango

TABELA 9. Heterose dos híbridos em porcentagem em relação a média dos pais do dialelo Mesoamérica x Durango e Jalisco avaliado em Lavras-MG, Lambari-MG e Patos de Minas-MG.

Genitores i \ Genitores j	Great Northern	Flor de Mayo	A - 114	Ojo de Liebre	Apetito Blanco	$\bar{h}_{ij}$
Brasil - 2	10,9	-28,7	-24,0	-34,5	-26,8	-20,6
A - 62	-13,3	-24,5	-34,9	-3,0	-20,7	-19,3
A - 175	67,0	9,3	37,4	6,8	-11,8	21,7
Carioca	24,7	-7,9	2,4	-19,6	4,4	0,8
CNC <sup>V</sup>	11,2	-6,8	5,5	25,9	-2,4	6,7
$\bar{h}_{ij}$	20,1	-11,7	-2,7	-4,9	-11,5	-2,1

<sup>V</sup> Compuesto Negro Chimaltenango

TABELA 10. Heterose dos híbridos em porcentagem em relação a média dos pais do dialelo Mesoamérica x Nova Granada avaliado em Lavras-MG, Lambari-MG e Patos de Minas-MG.

Genitores j Genitores i	Mont Calm	Diacol Andino	Perry Marrow	$\bar{h}_{ij}$
Brasil - 2	-2,8	-43,5	-36,4	-27,6
A - 62	-42,1	-19,5	-22,1	-27,9
A - 175	8,7	-24,3	-9,7	-8,4
Carioca	---	---	-12,7	-12,7
CNC <sup>1/</sup>	18,0	-27,6	-9,3	-6,3
$\bar{h}_{ij}$	-4,6	-28,7	-18,0	

<sup>1/</sup> Compuesto Negro Chimaltenango

Outra estimativa utilizada na escolha de genitores para um programa de melhoramento, conforme já comentado, é a divergência genética entre eles. Nesse trabalho empregou-se a distância de Mahalanobis para avaliar essa divergência. Observa-se que no dialelo Mesoamérica x Mesoamérica as distâncias variaram de 0,100 para o par A-62 x Compuesto Negro Chimaltenango a 1,333 para A-62 x Brasil-2 (Tabela 8). Em média, Brasil-2 foi o material mais divergente dos demais. Considerando todos os pares possíveis a distância média entre eles foi de 0,740.

No dialelo Mesoamérica x Durango e Jalisco as diferenças nas distâncias foram mais expressivas, variando de 0,396 para o par A-62 x A-114 a 5,116 entre Brasil-2 e Apetito Blanco (Tabela 11). A distância média entre todos os materiais da raça Mesoamérica para os das raças Durango e Jalisco foi de 2,409, aproximadamente o triplo do observado no dialelo anterior. Novamente entre os genitores da raça Mesoamérica o que apresentou maior divergência média foi o 'Brasil-2'. O cultivar A-114, da raça Durango, mostrou-se o menos divergente em

relação aos da Mesoamérica, enquanto Apetito Blanco, da raça Jalisco, em média, foi o mais divergente.

A magnitude das estimativas das distâncias nos cruzamentos Nova Granada x Mesoamérica foram bem superiores às observadas nos dialelos anteriores, embora com menor variação entre os pares (Tabela 12). Na média de todas as combinações a divergência foi de 5,520, isto é, 7,5 vezes superior à distância média observada entre os materiais do dialelo Mesoamérica x Mesoamérica e 2,3 vezes do dialelo Mesoamérica x Durango e Jalisco.

TABELA 11. Distância de Mahalanobis ( $D^2_{ij}$ ) entre os genitores das raças Mesoamérica x Durango e Jalisco avaliados em Lavras-MG, Lambari-MG e Patos de Minas-MG.

Genitores i \ Genitores j	Great Northern	Flor de Mayo	A - 114	Ojo de Liebre	Apetito Blanco	$\bar{D}^2_{ij}$
Brasil - 2	2,967	2,288	1,543	3,195	5,116	3,022
A - 62	2,051	2,134	0,396	2,026	4,015	2,124
A - 175	1,888	2,128	0,504	2,374	3,954	2,170
Carioca	2,172	2,725	0,723	2,886	4,452	2,592
CNC <sup>1/</sup>	2,072	2,171	0,414	2,081	3,961	2,140
$\bar{D}^2_{ij}$	2,230	2,289	0,716	2,512	4,300	2,409

<sup>1/</sup> Compuesto Negro Chimaltenango

A partir das distâncias de Mahalanobis foi feita a análise de agrupamento. Para essa análise consideram-se também as distâncias obtidas para as médias dos cultivares de cada raça. Pelo dendograma obtido (Figura 1), pode-se observar que a medida de divergência foi eficiente na separação dos cultivares quanto às raças, uma vez que foram formados três grupos: um com os materiais da raça Nova Granada, um com Durango e Jalisco e o terceiro,

predominantemente com os da raça Mesoamérica. A única exceção foi o cultivar A-114, pertencente à raça Durango, que agrupou-se junto com Mesoamérica, o que foi coerente com as menores estimativas de  $D^2_{ij}$  observadas quando cruzado com os materiais da raça Mesoamérica (Tabela 11).

TABELA 12. Distância de Mahalanobis ( $D^2_{ij}$ ) entre os genitores das raças Mesoamérica x Nova Granada avaliados em Lavras-MG, Lambari-MG e Patos de Minas-MG.

Genitores j Genitores i	Mont Calm	Diacol Andino	Perry Marrow	$\bar{D}^2_{ij}$
Brasil - 2	5,762	5,205	6,226	5,731
A - 62	5,757	4,648	5,831	5,412
A - 175	5,952	4,956	6,017	5,642
Carioca	6,300	5,182	6,377	5,953
CNC <sup>1/</sup>	5,174	4,128	5,280	4,861
$\bar{D}^2_{ij}$	5,789	4,824	5,946	5,520

<sup>1/</sup> Compuesto Negro Chimaltenango

Os estudos de divergência confirmam as observações de Singh (1989), de que os materiais utilizados pertencem à raças diferentes. É expressivo o fato de que dos 14 caracteres empregados para medir a divergência, o peso de sementes, a largura dos folíolos e o número de sementes por vagem explicaram 66,0 % da variação (Tabela 13). Há de se ressaltar que o peso das sementes apresenta correlação positiva e alta com o tamanho dos folíolos e negativa e também alta com o número de sementes por vagem (Duarte e Adams, 1972; Souza, 1993). Isso está de acordo com o fato de que o tamanho das sementes é um dos caracteres mais utilizados para agrupar um cultivar nas diferentes raças (Singh, 1989; Singh, Gepts e Debouck, 1991).

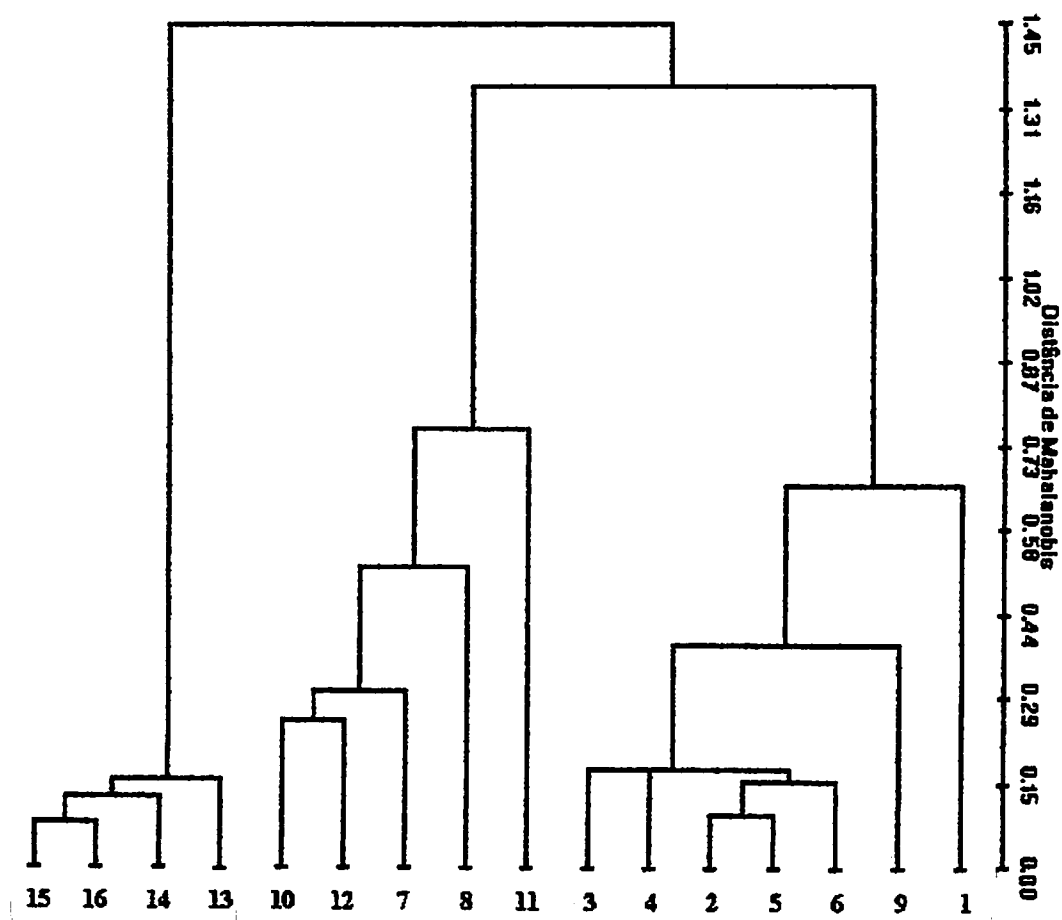


Figura 1. Dendrograma usando a distância de Mahalanobis ( $D^2$ ) para 13 cultivares de feijão de diferentes raças e para a média das raças. (1. Brasil-2; 2. A-62; 3. A-175; 4. Carioca; 5. Compuesto Negro Chimaltenango; 6. Média Mesoamérica; 7. Great Northern; 8. Flor de Mayo; 9. A-114; 10. Ojo de Liebre; 11. Apetito Blanco; 12. Média Durango e Jalisco; 13. Mont Calm; 14. Diacol Andino; 15. Perry Marrow; 16. Média Nova Granada).

TABELA 13. Contribuição relativa, em porcentagem, de cada característica avaliada nos genitores, para a divergência genética.

Características	Contribuição relativa (%)
Comprimento do folíolo central	1,7
Largura do folíolo central	16,4
Comprimento do folíolo lateral direito	6,6
Largura do folíolo lateral direito	5,0
Comprimento do folíolo lateral esquerdo	6,7
Largura do folíolo lateral esquerdo	12,5
Dias para florescimento	3,1
Comprimento do quinto internódio	6,2
Número de vagens / planta	4,7
Número de sementes / planta	0,0
Produção de grãos em g / planta	1,9
Número de sementes / vagem	16,8
Peso de 100 sementes	15,3
Produção de grãos / parcela	3,1

A principal dificuldade em se inferir a respeito da diferença da capacidade de combinação entre as raças do feijoeiro está no pequeno número de cultivares adaptados às condições brasileiras nas raças Durango, Jalisco e Nova Granada. A predominância no Brasil é o uso de cultivares da raça Mesoamérica. Os cultivares disponíveis no mercado, de grãos grandes pertencentes à raça Nova Granada, como o Jalo por exemplo, são incompatíveis com a maioria dos cultivares mesoamericanos em uso no país (Vieira, Ramalho e Santos, 1989; Cambraia, Ramalho e Abreu, 1993), restringindo, portanto, o seu emprego. Como se constatou, os genitores pertencentes às raças Durango, Jalisco e Nova Granada utilizados e que não apresentaram problemas de incompatibilidade não são bem adaptados. A média desses genitores



foi bem inferior à dos cultivares da raça Mesoamérica (Tabelas 4 e 6). Essa adaptação está relacionada à fatores tais como maior suscetibilidade à patógenos e pragas e também temperatura e fotoperíodo. Apesar da diferença expressiva no desempenho médio de todos os pais das diferentes raças, a diferença entre os híbridos não foram tão marcantes. Inclusive algumas combinações Mesoamérica x Durango e Jalisco superaram às obtidas no dialelo Mesoamérica x Mesoamérica (Tabelas 3 e 4). Pelo menos em princípio ficou evidenciada a maior capacidade de combinação entre os materiais de raças diferentes, sobretudo em função das estimativas das CGC's obtidas (Tabelas 3, 5 e 7). Esses resultados são concordantes com os relatados por Nienhuis e Singh (1988) e Singh e Urrea (1995).

O cultivar Carioca apesar de sua ampla adaptação mostrou ser de baixa capacidade de combinação ( $g_i$  negativo), conforme também já relatado por Nienhuis e Singh (1988). Considerando que esse cultivar é o mais empregado no Brasil, essa capacidade de combinação pode restringir o sucesso nos programas de melhoramento, por hibridação, visando o aumento da produtividade. Ressalta-se, entretanto, que a sua capacidade específica de combinação com alguns genitores tais como Brasil-2, Apetito Blanco, Flor de Mayo e A-114 foi expressiva (Tabelas 3 e 5). Essa capacidade específica pode ser atribuída à interações epistáticas tipo aditivo por aditivo uma vez que na geração avaliada apenas 1/8 dos locos segregantes se encontram em heterozigose.

O destaque em termos de capacidade de combinação foi o cultivar Compuesto Negro Chimaltenango. Esse material possui grãos pretos e crescimento muito agressivo. Esses caracteres limitarão a sua utilização nos programas de melhoramento conduzidos no Brasil, que têm como objetivos a obtenção de cultivares com grãos creme e estrias marrons e o hábito de crescimento o mais ereto possível.

O uso de medidas de divergência para a escolha de genitores também ficou prejudicado pela má adaptação de alguns genitores envolvidos, como já mencionado. Isso significa que o simples fato de dois genitores serem divergentes não implica em superioridade de seus híbridos. Essa mesma observação tem sido relatada em experimentos semelhantes envolvendo outras espécies como milho (Ferreira, 1993) e ervilha (Sarawat, Stoddard e Marsall, 1994). Além disso a média de uma população segregante depende da frequência dos locos fixados com alelos favoráveis (Oliveira et al., 1996) e da frequência de locos em heterozigose. Quando um ou ambos os genitores não são adaptados a frequência de locos favoráveis fixados é baixa. Nessa condição, dificilmente uma maior frequência de locos segregando advindos de uma maior divergência pode compensar a má adaptação dos genitores.

As estimativas da correlação entre a distância de Mahalanobis e CEC foram de -0,02 e com a heterose em relação à média dos pais de -0,35. Essas estimativas poderiam evidenciar a inviabilidade de se substituir os cruzamentos dialélicos pelas medidas de divergência. Há de se ressaltar, contudo, que a correlação é uma estimativa que exige variabilidade nas duas variáveis envolvidas. No presente caso a variabilidade na CEC e até mesmo na heterose foi pequena, sobretudo porque foi utilizada a geração  $F_4$  onde a frequência de locos segregando em heterozigose é de apenas  $1/8$ , conforme já comentado.

Como a maioria dos quadrados médios para a CGC foram significativos implica que há efeito aditivo no controle do caráter produção de grãos, como já foi constatado em outras oportunidades (Santos, Vencovsky e Ramalho, 1985; Nienhuis e Singh, 1988; Ramalho, Santos e Zimmermann, 1993) e também que há possibilidade de sucesso na identificação das populações para iniciar o programa de seleção visando a obtenção de linhas puras.

Do exposto, pode-se concluir que apesar de algumas populações do cruzamento de cultivares de diferentes raças serem promissoras para a seleção visando aumento na

produtividade de grãos, sua utilização será limitada pela divergência também em caracteres morfológicos cujos fenótipos normalmente são indesejáveis agrônomicamente e comercialmente, o que dificultará a obtenção de materiais aceitáveis pelo mercado. Assim, na escolha dos genitores para um programa de melhoramento deve-se também levar em conta a adaptação dos materiais a serem utilizados, além da possibilidade da obtenção de populações segregantes com média alta associada a grande variabilidade.

#### **4 CONCLUSÕES**

O cruzamento entre cultivares de feijão de diferentes raças foi mais promissor para a seleção visando aumento da produtividade de grãos. Contudo, devido a fenótipos indesejáveis para outros caracteres, tais como cor e tipo de grãos e hábito de crescimento, a chance de obter linhagens que associem produtividade e aceitação pelos agricultores e consumidores é reduzida.

A divergência genética não foi uma boa medida de escolha de genitores pois, normalmente, entre os mais divergentes estavam inclusos cultivares não adaptados.

#### **5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ABREU, A. de F. B.; RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos; MARTINS, L. A. Progresso do melhoramento genético do feijoeiro nas décadas de setenta e oitenta nas regiões Sul e Alto Paranaíba em Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.29, n.1, p.105-112, jan. 1994.
- CAMBRAIA, K. L.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B. Identificação de cultivares de feijão com grãos grandes e pequenos possuindo genótipos de compatibilidade. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 4, Londrina, 1993. *Resumos ... Londrina: IAPAR*, 1993. p.42.

- CARNEIRO, J. E. de S.; PEREIRA, P. A. A.; DEL PELOSO, M. J.; CARNEIRO, G. E. de S. Melhoramento genético do feijoeiro através de cruzamentos inter e intra- raciais. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 5, Goiânia, 1996. *Anais ... Goiânia: EMBRAPA-CNPAP*, 1996. p.379-381.
- CRUZ, C. D. **Aplicações de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas.** Piracicaba: ESALQ/USP, 1990. 188 p. (Tese - Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- DUARTE, R. A.; ADAMS, M. W. A path coefficient analysis of some yield component interrelations in field beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Crop Science*, Madison, v.12, n.5, p.579-582, Sept./Oct. 1972.
- ESTEFANEL, V.; PIGNHTARO, I. A. B.; SORK, L. Avaliação do coeficiente de variação de experimentos com algumas culturas agrícolas. In: SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA À EXPERIMENTAÇÃO AGRÍCOLA, 2, Londrina, 1987, *Anais ... Londrina:UEL*, 1987. p.115-131.
- FERREIRA, D. F. **Métodos de avaliação da divergência genética em milho e suas relações com os cruzamentos dialélicos.** Lavras: ESAL, 1993. 72 p. (Dissertação - Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. de; SANTOS, M. X. dos; RAMALHO, M. A. P. Métodos de avaliação da divergência genética em milho e suas relações com os cruzamentos dialélicos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.30, n.9, p.1189-1194, set. 1995.
- FERREIRA, D. F.; REZENDE, G. D. S. P.; RAMALHO, M. A. P. An adaptation of Griffing's method IV of complete diallel cross analysis for experiments repeated in several environments. *Revista Brasileira de Genética*, Ribeirão Preto, v.16, n.2, p.357-366, June 1993.
- GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal of Biological Sciences*, Melbourne, v.9, p.463-493, 1956.
- GUTIÉRREZ, J. A.; SINGH, S. P. Hybrid dwarfism in *Phaseolus vulgaris* L. and its implications in genetic improvement. *Annual Report of the Bean Improvement Cooperative*, New York, v.25, p.96-97, 1982.
- JONHSON, R.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis.** New Jersey: Prentice Hall, 1988. 607 p.
- KOINANGE, E. M. K.; GEPTS, P. Hybrid weakness in wild *Phaseolus vulgaris* L. *Journal of Heredity*, New York, v.83, n.2, p.135-139, Mar/Apr. 1992.
- MACHADO, A. T. **Avaliação de cruzamentos intervarietais de milho (*Zea mays* L.) utilizando o esquema dialélico parcial incompleto.** Piracicaba: ESALQ, 1986. 121 p. (Dissertação - Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).

- NIENHUIS, J.; SINGH, S. P. Genetics of seed yield and its components in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) of Middle- American origin. I. General combining ability. **Plant Breeding**, Cambridge, v.101, n.2, p.143-154, June 1988.
- OLIVEIRA, L. B.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B.; FERREIRA, D. F. Alternative procedures for parent choice in a breeding program for the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Brazilian Journal of Genetics**, Ribeirão Preto, v.19, n.4, p.611-615, Dec. 1996.
- RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos; PEREIRA FILHO, I. A. Choice of parents for dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) breeding. I. Interactions of mean components by generation and by location. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v.11, n.2, p.391-400, June 1988.
- RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos; ZIMMERMANN, M. J. de O. **Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro**. Goiânia: UFG, 1993. 271 p.
- SANTOS, J. B. dos; VENCOVSKY, R.; RAMALHO, M. A. P. Controle genético da produção de grãos e seus componentes primários em feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, n.10, p.1203-1211, out. 1985.
- SARAWAT, P.; STODDARD, F. L.; MARSHALL, D. R. Genetic distance and its association with heterosis in peas. **Euphytica**, Wageningen, v.73, n.3, p.255-264, Mar. 1994.
- SHI, C. T.; MOK, S. R.; TEMPLE, S. R.; MOK, D. W. S. Expression of developmental abnormalities in hybrids of *Phaseolus vulgaris* L.: Interaction between temperature and allelic dosage. **The Journal of Heredity**, New York, v.71, n.4, p.219-222, July/Aug. 1980.
- SINGH, S. P. Patterns of variation in cultivated common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). **Economic Botany**, New York, v.43, n.1, p.39-57, Jan./Mar. 1989.
- SINGH, S. P.; CAJIAO, C.; GUTIÉRREZ, J. A.; GARCIA, J.; PASTOR-CORRALES, M. A.; MORALES, F. J. Selection for seed yield in inter-gene pool crosses of common bean. **Crop Science**, Madison, v.29, n.5, p.1126-1131, Sept./Oct. 1989.
- SINGH, S. P.; GEPTS, P.; DEBOUCK, D. G. Races of common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). **Economic Botany**, New York, v.45, n.3, p.379-396, July/Sept. 1991.
- SINGH, S. P.; GUTIÉRREZ, J. A. Geographical distribution of the DL<sub>1</sub> and DL<sub>2</sub> genes causing hybrid dwarfism in *Phaseolus vulgaris* L., their association with seed size, and their significance to breeding. **Euphytica**, Wageningen, v.33, n.2, p.337-345, June 1984.
- SINGH, S. P.; TERÁN, H.; MOLINA, A.; GUTIÉRREZ, J. A. Combining ability for seed yield and its components in common bean of andean origin. **Crop Science**, Madison, v.32, n.1, p.81-84, Jan./Feb.1992.
- SINGH, S. P.; URREA, C. A. Inter- and intraracial hybridization and selection for seed yield in early generations of common bean, *Phaseolus vulgaris* L. **Euphytica**, Wageningen, v.81, n.2, p.131-137, June 1995.

- SOUZA, E. A. de. **Controle genético de alguns caracteres do feijoeiro**. Lavras: ESAL, 1993. 105 p. (Dissertação - Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- TAKEDA, C.; SANTOS, J. B. dos; RAMALHO, M. A. P. Choice of parental lines for common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) breeding. II. Reaction of cultivars and of their segregant populations to variations in different environments. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v.14, n.2, p.455-465, June 1991.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 486 p.
- VIEIRA, A. L.; RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos. Crossing incompatibility in some bean cultivars utilized in Brazil. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v.12, n.1, p.169-171, mar. 1989.

## **CAPÍTULO II**

### **PREDIÇÃO DO POTENCIAL GENÉTICO DE POPULAÇÕES SEGREGANTES DE FEJJOEIRO**

#### **RESUMO**

A predição do potencial genético das populações segregantes de plantas autógamas o mais precoce possível aumenta a eficiência dos programas de melhoramento, pois possibilita economia de tempo e de recursos. Neste trabalho foram comparadas alternativas para se obter essa predição. Para isso, quatro populações do feijoeiro foram avaliadas nas gerações  $F_1$  e  $F_2$  juntamente com os genitores, sendo obtidas as estimativas dos componentes de médias e as variâncias. Com essas estimativas e utilizando o procedimento de Jinks e Pooni (1976), que permite estimar a probabilidade de cada população originar linhagens que superem um determinado padrão, fez-se a predição do potencial de cada população. Para verificar a eficiência das estimativas empregadas foi conduzido um experimento adicional onde avaliaram-se 62 famílias  $F_{5;7}$  de cada uma das populações nas mesmas condições. Estimou-se a herdabilidade ( $h^2$ ) de cada cruzamento e a porcentagem de famílias que superaram o cultivar considerado como padrão. Constatou-se que a estimativa do componente de média,  $m + a'$  apresentou correlação positiva e elevada com a média das linhagens na geração  $F_{5;7}$ , confirmando a eficiência dessa estimativa na

predição da média das linhagens na geração  $F_{\infty}$ . A estimativa da contribuição do desvio dos heterozigotos em relação à média ( $d$ ) apresentou correlação elevada e positiva com a  $h^2$  das famílias  $F_{5,7}$ , indicando que a estimativa de  $d$  deve estar associada à variância genética entre as famílias. Houve boa concordância da porcentagem de linhagens superiores a um determinado padrão na geração  $F_{5,7}$  e a probabilidade estimada pela metodologia de Jinks e Pooni (1976), indicando que esta metodologia é eficiente na predição precoce do potencial de populações segregantes do feijoeiro.

### **ABSTRACT**

#### **PREDICTION OF THE GENETIC POTENTIAL OF COMMON**

#### **BEAN SEGREGANT POPULATIONS**

The prediction of the genetic potential of segregant populations of autogamous plants as early as possible increases the efficiency of the breeding programs because it makes it possible to save time and resources. In this work, alternatives for obtaining this prediction were compared. In order to do that, four common bean populations were evaluated in the  $F_1$  and  $F_2$  generations together with the parents, obtaining the estimates of the mean components and the variances. With these estimates and using the Jinks and Pooni (1976) procedure, which allows to estimate the probability of each population to originate lines that surpass a determined standard, the prediction of the potential of each population was done. To verify the efficiency of the employed estimates, an additional experiment was carried out in which 62  $F_{5,7}$  families from each population, under the same conditions, were evaluated. The heritability ( $h^2$ ) of each crossing and



the percentage of families that surpassed the cultivar considered standard were estimated. It was verified that the estimate of the mean component  $m + a'$  presented positive and elevated correlation with the lines average in the  $F_{3:7}$  generation, confirming the efficiency of this estimate in predicting the lines average in the  $F_{\infty}$  generation. The estimate of contribution of heterozygote deviations in relation to the average ( $d$ ) presented high and positive correlation with the  $h^2$  of the  $F_{3:7}$  families, indicating that the estimate of  $d$  must be associated to the genetic variance among the families. There was good agreement between the percentage of lines superior to a determined standard in the  $F_{3:7}$  generation and the probability estimated by the Jinks and Pooni (1976) methodology, indicating that this procedure is efficient for early prediction of the genetic potential of common bean segregant populations.

## 1 INTRODUÇÃO

O sucesso de um programa de melhoramento de plantas autógamas está diretamente associado à escolha criteriosa das populações segregantes a serem utilizadas na seleção. Uma escolha inadequada acarreta perda de recursos e, sobretudo, de tempo. Procedimentos que possibilitem o descarte de combinações não promissoras o mais precoce possível tem sido o objetivo de vários trabalhos (Singh e Urrea, 1995; Oliveira et al., 1996). A população segregante ideal é aquela que associa média alta e suficiente variabilidade genética que possibilite a seleção de linhagens com desempenho superior aos pais e, conseqüentemente, o sucesso com a seleção.

As metodologias que são utilizadas com essa finalidade podem ser agrupadas em duas categorias (Baenziger e Peterson, 1991): a primeira delas envolve procedimentos que utilizam apenas as informações dos genitores como o seu desempenho médio, o coeficiente de

parentesco e a análise multivariada visando estimar a divergência genética; a segunda, que utiliza informações sobre o comportamento de suas progênes, empregam principalmente os cruzamentos dialélicos. Praticamente todas as metodologias mencionadas anteriormente não permitem obter informações sobre média e variância simultaneamente. A principal alternativa nesse caso é a metodologia de Jinks e Pooni (1976). Ela estima a probabilidade de se obter linhagens superiores a um padrão na geração  $F_{\infty}$ , considerando a média e a variância de uma geração precoce. Essa metodologia já foi utilizada em algumas oportunidades como em soja (Triller, 1994) e feijão (Otubo et al., 1996). Contudo, são ainda restritas as informações que confirmem a sua eficiência.

Esse trabalho foi realizado com o objetivo de comprovar a eficácia do procedimento de Jinks e Pooni (1976) e propor alternativas que possam melhorar a sua eficiência na identificação de populações segregantes de feijoeiro superiores, a partir de informações obtidas nas gerações iniciais.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

Foram utilizadas quatro populações segregantes, escolhidas no cruzamento dialélico efetuado por Abreu, Ramalho e Santos (1993), em função da divergência entre os pais e, sobretudo, pela possibilidade de selecionar linhagens com tipo de grão aceitável pelos consumidores. As principais características dos genitores envolvidos estão relacionadas na tabela 1.

Foram obtidas as gerações  $F_1$  e  $F_2$  dos cruzamentos Carioca x Brasil-2, Carioca x Flor de Mayo, IPA-7419 x A-114 e Brasil-2 x A-114. Parte das sementes  $F_2$  foram avançadas pelo método massal até a  $F_5$ . Nessa geração foram colhidas plantas individuais. As famílias ( $F_{5,6}$ ) foram

TABELA 1. Principais características dos cultivares de feijão utilizados nos cruzamentos.

Cultivar	Centro de domesticação	Raça	Hábito de cresc.	Grão	
				Cor	Tamanho
Carioca	Meso-América	Mesoamérica	III	Bege c/ estrias marrom	P
Brasil-2	Meso-América	Mesoamérica	I	Bege	P
IPA-7419	Meso-América	Mesoamérica	III	Bege	P
Flor de Mayo	Meso-América	Jalisco	IV	Creme e rosa	M
A-114	Meso-América	Durango	III	Vinho variegada	M

<sup>1</sup>P: pequeno (peso de 100 sementes < 25 g; M: médio (peso de 100 sementes de 25-40 g)

novamente semeadas e colhidas em bulk para obter as famílias F<sub>5;7</sub>. Posteriormente foram conduzidos dois experimentos:

1<sup>o</sup> - Avaliação dos genitores e das gerações F<sub>1</sub> e F<sub>2</sub> dos cruzamentos: O experimento foi instalado no município de Lavras (21° 14' S de latitude e 45° 00' W de longitude) em julho de 1996. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com cinco repetições e 25 parcelas por repetição, ou seja, os cinco genitores, as quatro gerações F<sub>1</sub> e 16 F<sub>2</sub>, sendo quatro de cada cruzamento. As parcelas foram constituídas por uma linha de 2 m, espaçadas de 0,5 m, colocando-se 15 sementes por metro de sulco. Foi empregado o equivalente a 400 kg/ha de fertilizante da fórmula 4-14-8 de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O na semeadura e 150 kg/ha de sulfato de amônio em cobertura, 20 dias após a emergência. A cultura foi submetida à irrigação por aspersão. Os demais tratos culturais foram os normalmente empregados na cultura.

As plantas foram colhidas individualmente sendo obtida a produtividade de grãos em g/planta. Estimou-se a variância fenotípica ( $\sigma^2_F$ ) de cada parcela e posteriormente a variância

fenotípica média das parcelas que receberam os mesmos tratamentos nas diferentes repetições. A variância genética ( $\sigma_{G_i}^2$ ) de uma dada população  $i$  foi estimada pela expressão:  $\sigma_{G_i}^2 = \sigma_{F_2_i}^2 - \sigma_{E_i}^2$ , onde:  $\sigma_{F_2_i}^2$  é a variância fenotípica média da geração  $F_2$  da população  $i$  e  $\sigma_{E_i}^2$  é a variância ambiental média da população  $i$ . A variação em cada um dos cultivares parentais, ( $\sigma_{P_1_i}^2$  e  $\sigma_{P_2_i}^2$ ) que são linhas puras, é exclusivamente ambiental, pois todos os indivíduos de um mesmo cultivar possuem genótipos idênticos. De maneira semelhante, a variância entre indivíduos da geração  $F_1$  ( $\sigma_{F_1_i}^2$ ) também é ambiental, pois todos os indivíduos dessa geração têm o mesmo genótipo, embora sejam heterozigotos. Desta forma a  $\sigma_{E_i}^2$  foi obtida por  $\sigma_{E_i}^2 = (\sigma_{P_1_i}^2 + \sigma_{P_2_i}^2 + \sigma_{F_1_i}^2)/3$ .

Obtiveram-se as estimativas dos componentes de média,  $m + a'$  e  $d$ , onde:  $m$  é média fenotípica de todas as linhagens possíveis, na geração  $F_\infty$ , do cruzamento de pais completamente contrastantes;  $a'$  é o somatório dos efeitos dos locos fixados nos genitores, ou seja, dos locos em que eles não são contrastantes; e  $d$  o desvio dos heterozigotos em relação a média. Para isso foi utilizado o método dos quadrados mínimos, considerando o seguinte modelo:  $(\bar{P}_1 + \bar{P}_2)/2 = m + a'_i$ ;  $\bar{F}_1 = m + a'_i + d_i$ ;  $\bar{F}_2 = m + a'_i + \frac{1}{2} d_i$ , onde  $\bar{P}_1$  e  $\bar{P}_2$  são as médias dos pais 1 e 2, respectivamente, da população  $i$  e  $\bar{F}_1$  e  $\bar{F}_2$  são as médias das gerações  $F_1$  e  $F_2$ , respectivamente, da população  $i$ . As estimativas de  $m + a'$  das populações duas a duas foram comparadas pelo teste de  $t$  ( $\alpha = 0,05$ ).

O potencial das populações foi avaliado utilizando o procedimento de Jinks e Pooni (1976). Este método estima a probabilidade da população em apreço originar linhagens que superem um determinado padrão. Essa probabilidade corresponde à área à direita de um determinado valor de  $x$  na abscissa da distribuição normal. Essa área foi calculada utilizando as

propriedades de uma distribuição normal padronizada estimando a variável  $Z$  pela expressão  $Z = (x - m)/s$ , onde  $x$  é a média da linhagem considerada como padrão ( $\bar{L}$ ) que no presente caso foi o cultivar Carioca;  $m$  é a média das linhagens na geração  $F_{\infty}$  que, em um modelo sem dominância, corresponde à média da geração  $F_2$ , isto é,  $m = \bar{F}_{2_i}$ ; e  $s$  é o desvio padrão fenotípico entre as linhagens. A variância genética entre as linhagens ( $\sigma^2_L$ ) corresponde a duas vezes a variância genética aditiva ( $\sigma^2_A$ ) presente na geração  $F_2$ . Considerando um modelo sem dominância a variância fenotípica de  $F_2$  ( $\sigma^2_{F_2}$ ) contém  $\sigma^2_A + \sigma^2_E$ . Assim  $2\sigma^2_A = 2\sigma^2_{F_2} - 2\sigma^2_E$ . Considerando que a variância ambiental entre as linhagens seja semelhante à variância ambiental da geração  $F_2$ , tem-se que  $s = \sqrt{\sigma^2_L} = \sqrt{2\sigma^2_A + \sigma^2_E} = \sqrt{2\sigma^2_{F_2} - \sigma^2_E}$ . Portanto, para uma dada população  $i$ ,

$$Z_i = (\bar{L} - \bar{F}_{2_i}) / \sqrt{2\sigma^2_{F_2} - \sigma^2_{E_i}}$$

2º - Avaliação das famílias  $F_{5:7}$ : Os experimentos foram conduzidos em Lavras e Patos de Minas (18° 35'S de latitude e 46 ° 31'W de longitude) na mesma época e condições do experimento anterior. O delineamento experimental foi um látice 16 x 16 com três repetições. Os tratamentos foram constituídos por 62 famílias de cada cruzamento, os cinco genitores e mais três cultivares testemunhas.

Foi avaliada a produtividade de grãos, em g/parcela, a qual foi submetida à uma análise de variância por local e, posteriormente, conjunta considerando o seguinte modelo estatístico com todas as variáveis sendo aleatórias, exceto a média:

$$Y_{ijkl} = m + p_i + l_s + pl_{is} + r_{j(s)} + b_{k(j)s} + e_{ijkl}$$

em que:

$Y_{ijkl}$  : produção da família  $i$ , no bloco  $k$ , na repetição  $j$ , no local  $s$ ;

$m$ : média geral;

$p_i$ : efeito da família  $i$ , sendo  $i = 1, 2, \dots, 256$ ;

$l_s$ : efeito do local  $s$ , sendo  $s = 1, 2$ ;

$pl_{is}$ : efeito da interação da família  $i$  com o local  $s$ ;

$r_{j(s)}$ : efeito da repetição  $j$  dentro do local  $s$ ;

$b_{k(j,s)}$ : efeito do bloco  $k$ , dentro da repetição  $j$  e do local  $s$ ;

$e_{ijkl}$ : erro efetivo médio.

A partir das esperanças dos quadrados médios foram obtidas as estimativas da variância genética e fenotípica entre as médias das famílias do cruzamento  $i$ . Posteriormente, foi estimada a herdabilidade ( $h^2_i$ ) utilizando metodologia apresentada por Vencovsky e Barriga (1992), bem como os limites inferior e superior dos intervalos de confiança ao nível de probabilidade  $1-\alpha = 0,95$  (Knapp, Stroup e Ross, 1985).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente é preciso salientar que a estimativa de  $m + a'$  corresponde à média de todas as linhagens possíveis de um dado cruzamento na geração  $F_\infty$  (Vencovsky, 1987). Nesse trabalho os valores de  $m + a'$  variaram de 7,72, cruzamento Brasil-2 x A-114 a 13,36, Carioca x Flor de Mayo (Tabela 2). Todos os contrastes dessas estimativas duas a duas foram significativos. Desse modo pode-se inferir que as populações cujas linhagens terão maior média na geração  $F_\infty$  serão a Carioca x Flor de Mayo e Carioca x Brasil-2.

Ao contrário do que ocorreu para  $m+a'$ , as maiores estimativas de  $d$  foram obtidas nos cruzamentos IPA 7419 x A-114 e Brasil-2 x A-114 (Tabela 2). Isto evidencia a presença de

dominância na manifestação do caráter, que pode ser comprovada nesses cruzamentos pela superioridade da média da geração  $F_1$  em relação à média dos pais e da geração  $F_2$ . Concordantes com esses resultados, vários trabalhos também relatam ocorrência de heterose para o caráter produção de grãos no feijoeiro (Ghaderi, Adams e Nassib, 1984; Gutiérrez e Singh, 1985; Nienhuis e Singh, 1986).

TABELA 2. Produtividade média, em g/planta, dos genitores e das gerações  $F_1$ ,  $F_2$ , e estimativas da variância genética da geração  $F_2$  ( $\sigma_G^2$ ) e dos componentes de média ( $m + a'_i$  e  $d_i$ ) de cada população  $i$ .

Cruzamentos	$(\bar{P}_1 + \bar{P}_2)/2$	$\bar{F}_1$	$\bar{F}_2$	$\sigma_G^2$	$m + a'_i$	$d_i$
Carioca x Brasil-2	12,054	12,087	11,439	-7,699	11,844 (4,556) <sup>L</sup>	0,033 (8,955)
Carioca x F.Mayo	13,864	14,144	12,478	4,553	13,355 (5,191)	0,280 (8,925)
IPA-7419 x A-114	10,256	13,619	10,700	12,605	9,844 (3,890)	3,363 (8,038)
Brasil-2 x A-114	7,904	12,854	9,812	7,472	7,715 (3,459)	4,950 (8,180)

<sup>L</sup> Erro padrão da estimativa

Como a estimativa de  $d$  refere-se à contribuição dos locos em heterozigose em relação à média dos pais, considerando todos os locos com efeitos iguais, pode-se inferir que as populações IPA 7419 x A-114 e Brasil-2 X A-114 possuem maior número de locos em heterozigose que as demais. Desse modo é esperada maior variação na geração  $F_2$  e demais gerações dessas duas populações. As estimativas da variância genética da  $F_2$  apresentadas na tabela 2 são coerentes com essa observação.

É oportuno salientar que a maioria dos procedimentos que avaliam o potencial de populações segregantes considera apenas o desempenho médio, com pouca ou nenhuma ênfase à variabilidade das populações, haja vista que para obter essa variação na geração  $F_2$ , por exemplo, é necessário tomar dados de plantas individuais. Essa estimativa é muito trabalhosa e normalmente associada à erros de grande magnitude. Os resultados obtidos nesse trabalho evidenciam que, ocorrendo dominância, a estimativa de  $d$ , contribuição dos locos em heterozigose, poderá substituir a estimativa da variância genética. Esse parâmetro é um componente de média e, portanto, estimável com melhor precisão do que a variância e sem necessidade de se obter dados de plantas individuais. A única restrição é que é necessário avaliar duas gerações simultaneamente, isto é,  $F_1$  e  $F_2$ . Como a obtenção de sementes  $F_1$  em número suficiente para conduzir um experimento envolvendo várias populações, pode ser uma restrição em algumas espécies como o feijoeiro onde os cruzamentos manuais são trabalhosos, pode-se avaliar  $F_2$  e  $F_3$ , conforme feito por Oliveira et al. (1996).

As estimativas de  $m + a'$  e  $d$ , portanto, possibilitam obter todas as informações que os melhoristas necessitam para decidir quais populações segregantes serão mais promissoras. Para isso basta avaliar simultaneamente os genitores e as gerações  $F_1$  e  $F_2$  ou  $F_2$  e  $F_3$ . Como já mencionado, o  $m+a'$  corresponde à média das  $n$  linhagens na geração  $F_\infty$  e o  $d$  seria o indicador da variação entre as linhagens. O ideal é a população segregante que associe altos valores de  $m+a'$  e  $d$ , pois proporcionarão linhagens com média alta e grande variação que é o principal objetivo dos melhoristas.

A análise da variância da produção de grãos das famílias  $F_{5,7}$  avaliadas é apresentada na tabela 3. Constatou-se que ocorreu diferença significativa entre as famílias para todas as populações exceto no cruzamento Carioca x Brasil-2. As interações famílias x locais só



foram significativas nos cruzamentos Carioca x Flor de Mayo e A-114 x Brasil 2. As estimativas de herdabilidade apresentadas na Tabela 4 variaram de 18,5 %, cruzamento Carioca x Brasil-2, a 52,4 %, Brasil-2 x A-114. Na seleção de cruzamentos mais promissores, normalmente os melhoristas levam em consideração as estimativas de herdabilidade. Contudo, pelos resultados obtidos neste trabalho pode-se observar que o cruzamento que apresentou maior herdabilidade também foi o que apresentou a menor média entre as famílias (Tabela 5). Assim, essa estimativa isolada não é um indicativo de sucesso no programa de melhoramento, uma vez que pode estar associada à produtividades médias inferiores, reforçando a idéia de que a melhor população é aquela que associa média elevada e suficiente variabilidade.

Embora o número de populações tenha sido restrito, apenas quatro, foi estimada a correlação entre a estimativa de  $d$  e  $h^2$  e entre  $m + a'$  e produtividade média das famílias  $F_{5:7}$ . A correlação entre  $d$  e  $h^2$  foi positiva e elevada,  $r = 0,97$ , indicando como já mencionado, que o  $d$  deve estar associado à variância genética, sendo essa a razão da associação positiva e alta nesse caso. A estimativa de  $m + a'$  apresentou correlação de 0,97 com a produtividade média das famílias  $F_{5:7}$ . Isso comprova que a estimativa de  $m + a'$  reflete a média das famílias em gerações avançadas de endogamia como prevê a teoria (Vencovsky, 1987).

TABELA 3. Análise de variância conjunta da produtividade de grãos, em g/parcela, das famílias F<sub>5,7</sub> do cruzamento entre cultivares de feijão, avaliadas em Lavras-MG e Patos de Minas-MG.

FV	GL	QM	P <sup>U</sup>
Locais (L)	1	1053156,540	0,000
Famílias (F)	255	10349,989	0,000
Carioca x Brasil-2	61	4033,602	0,135
Carioca x Flor de Mayo	61	7663,353	0,000
A-114 x IPA-7419	61	6548,079	0,000
A-114 x Brasil-2	61	10103,986	0,000
Pais (P)	4	12301,155	0,005
Testemunhas (T)	2	9015,645	0,068
Entre cruzamentos (C)	3	259936,589	0,000
C vs P	1	16396,906	0,027
C e P vs T	1	46524,390	0,000
F x L	255	4483,613	0,001
(Carioca x Brasil-2) x L	61	3286,569	0,521
(Carioca x Flor de Mayo) x L	61	5668,220	0,000
(A-114 x IPA-7419) x L	61	3253,034	0,543
(A-114 x Brasil-2) x L	61	4806,424	0,017
P x L	4	2182,118	0,627
T x L	2	14948,070	0,012
C x L	3	19525,501	0,000
(C vs P) x L	1	6273,792	0,171
(C e P vs T) x L	1	1977,285	0,443
Erro efetivo médio	930	3338,104	
Média		264,9	
CV (%)		21,8	

<sup>U</sup> Probabilidade de significância pelo teste F.

Tabela 4. Variância genética ( $\sigma_{G_i}^2$ ) e herdabilidade ( $h_i^2$ ) com seus respectivos intervalos de confiança, da produtividade de grãos (g/parcela) das famílias  $F_{5:7}$  do cruzamento entre cultivares de feijão. Lavras-MG e Patos de Minas-MG.

Cruzamentos	$\sigma_{G_i}^2$	$h_i^2$ (%)	$LI_i^{1/}$	$LS_i^{2/}$
Carioca x Brasil-2	124,506	18,52	-35,23	50,91
Carioca x Flor de Mayo	332,522	26,03	-22,76	55,43
IPA-7419 x A-114	549,174	50,32	17,55	70,07
Brasil-2 x A-114	882,927	52,43	21,05	71,34

<sup>1/</sup> Limite inferior da estimativa de herdabilidade; <sup>2/</sup> Limite superior da estimativa de herdabilidade

Para a aplicação da metodologia de Jinks e Pooni (1976), considerou-se como padrão o cultivar Carioca por ser um material produtivo e o mais cultivado no país. As estimativas da probabilidade de se obter linhagens que superem o cultivar Carioca são apresentadas na tabela 6. Inicialmente é preciso salientar que as estimativas da probabilidade foram obtidas utilizando dois procedimentos, isto é, considerando como média das linhagens na geração  $F_{\infty}$ , a média da geração  $F_2$  ou a estimativa de  $m + a'$ . Como foi detectada dominância no controle do caráter, indica que a média da geração  $F_2$ , além de  $m + a'$ , conterà metade da contribuição dos locos em heterozigose ( $\bar{F}_2 = m + a' + \frac{1}{2}d$ ). Veja contudo, que a diferença nas estimativas da probabilidade não foram pronunciadas, exceto no cruzamento Brasil-2 x A-114, coerentemente onde foi obtida a maior estimativa de  $d$ . O uso da média da geração  $F_2$  para representar a média da  $F_{\infty}$  foi preconizada por Jinks e Pooni (1976) e utilizada em algumas oportunidades (Triller, 1994; Otubo et al., 1996). Pelo que foi comentado, embora no caso do feijoeiro a ocorrência de dominância

seja frequente, a predominância é da ação gênica aditiva (Nienhuis e Singh, 1988; Ramalho, Santos e Pereira Filho, 1988; Abreu, 1989; Takeda, 1990; Vizgarra, 1991) e, portanto, a inferência usando a geração  $F_2$  pode ser válida, porque mesmo inflacionando a estimativa da probabilidade, provavelmente não terá maiores consequências em termos da escolha das melhores populações. Veja contudo, que a estimativa de  $m + a'$  pode ser facilmente obtida e independerá da ocorrência de dominância.

TABELA 5. Produtividade média de grãos (g/parcela) dos pais ( $P_1$  e  $P_2$ ) e das famílias  $F_{5:7}$  de cada população  $i$  e porcentagem de famílias superiores ao cultivar Carioca (PSC). Lavras-MG e Patos de Minas-MG.

Cruzamentos	$\bar{P}_1$	$\bar{P}_2$	Famílias	PSC
Carioca x Brasil-2	246,3	243,3	285,8	16,1
Carioca x Flor de Mayo	246,3	283,9	286,4	29,0
IPA-7419 x A-114	266,4	165,6	254,9	4,8
Brasil-2 x A-114	243,3	165,6	231,8	0,0

A população com maior chance de se obter linhagens que superem o cultivar Carioca foi proveniente do cruzamento Carioca x Flor de Mayo e a pior Brasil-2 x A-114 (Tabela 6). Esses resultados são coerentes com as estimativas da capacidade específica de combinação obtidas por Abreu, Ramalho e Ferreira (1997) e com as estimativas de  $m + a'$  relatadas anteriormente.

TABELA 6. Produtividade média ( $\bar{F}_{2i}$ ), em g/planta, e estimativas da variância fenotípica ( $\sigma_{F_{2i}}^2$ ) da geração F<sub>2</sub>, da variância ambiental ( $\sigma_{E_i}^2$ ) e da probabilidade, em porcentagem, de obtenção de linhagens superiores ao cultivar Carioca (PSC).

Cruzamentos	$\bar{F}_{2i}$	$\sigma_{F_{2i}}^2$	$\sigma_{E_i}^2$	PSC <sup>1</sup>	PSC <sup>2</sup>
Carioca x Brasil-2	11,439	40,152	47,851	21,67	23,81
Carioca x F.Mayo	12,478	58,494	53,941	33,32	37,42
IPA-7419 x A-114	10,700	46,433	33,828	24,92	21,52
Brasil-2 x A-114	9,812	38,531	31,058	18,46	11,37

<sup>1</sup> Probabilidade de obter linhagens que superem o cultivar Carioca, usando  $\bar{F}_{2i}$ .

<sup>2</sup> Probabilidade de obter linhagens que superem o cultivar Carioca, usando  $m_i + a_i$ .

A distribuição de frequência da produtividade das famílias de cada cruzamento é apresentada na Figura 1. A variação foi de 221,9 a 357,9 g/parcela no cruzamento Carioca x Brasil-2; de 177,9 a 344,9 g/parcela para Carioca x Flor de Mayo; 181,9 a 316,9 g/parcela para IPA-7419 x A-114 e de 146,8 a 305,8 g/parcela para Brasil-2 x A-114. A maior média, considerando todas as linhagens, foi observada no cruzamento Carioca x Flor de Mayo e a menor no cruzamento Brasil-2 x A-114 (Tabela 5), novamente concordante com as estimativas de  $m + a'$  (Tabela 2).

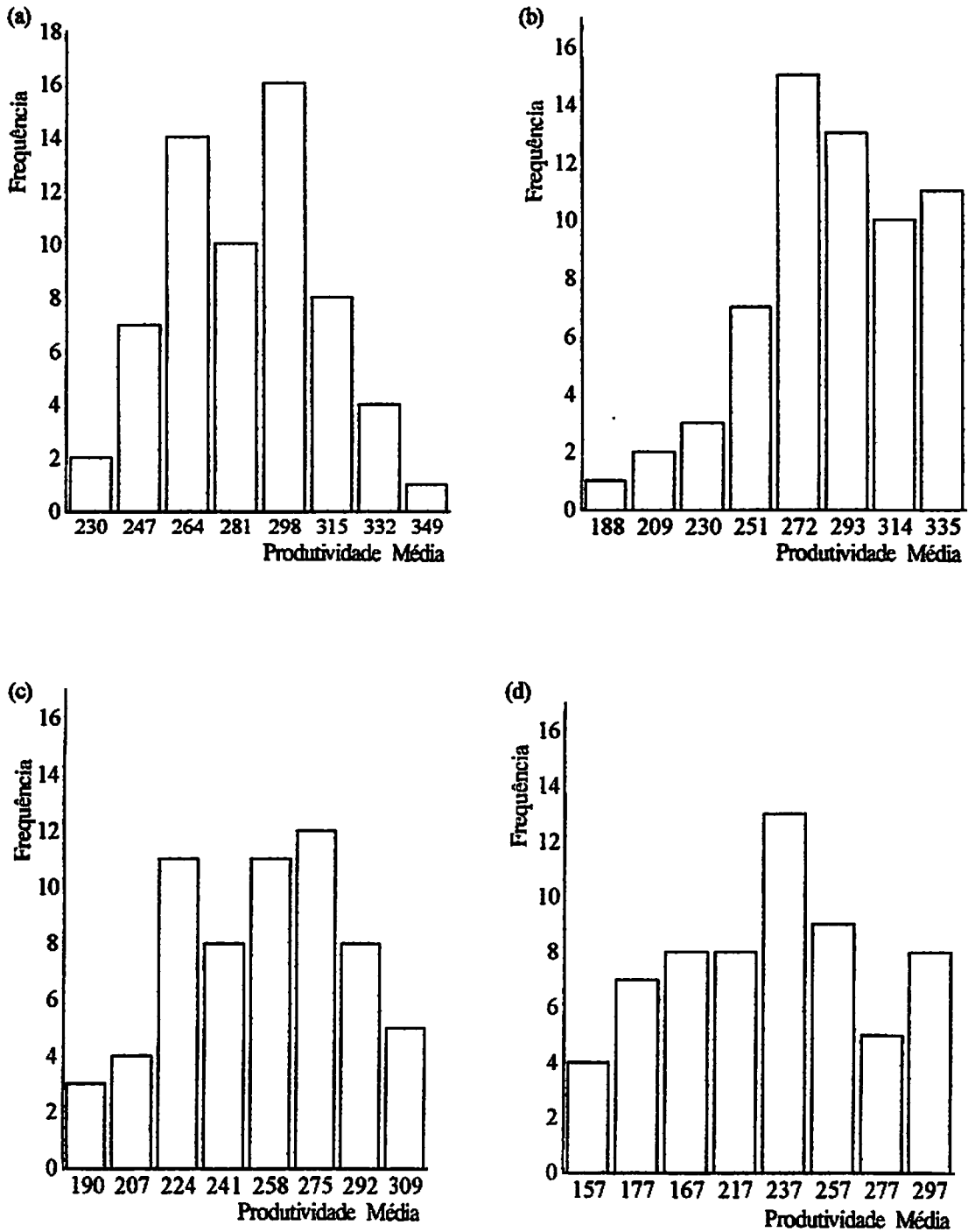


Figura 1. Distribuição de frequência da produtividade média de grãos em g/parcela, das famílias  $F_{5,7}$  dos cruzamentos Carioca x Brasil-2 (a), Carioca x Flor de Mayo (b) IPA-7419 x A-114 (c) e Brasil-2 x A-114 (d).

É oportuno salientar que 29 % das famílias  $F_{5:7}$  do cruzamento Carioca x Flor de Mayo apresentaram produtividade média superior à média do Carioca ( $P \leq 0,05$ ) (Tabela 5). Esse valor é muito semelhante ao obtido pela estimativa de Jinks e Pooni (1976) relatado anteriormente (Tabela 6). Observe também que no caso do cruzamento Brasil-2 x A-114, nenhuma das linhagens  $F_{5:7}$  apresentaram desempenho significativamente superior ao do cultivar Carioca (Tabela 5), o que concorda com os resultados anteriormente obtidos de que nessa população a probabilidade de se obter linhagens superiores à esse cultivar seria menor (Tabela 6).

Comparando a probabilidade observada de se obter linhagens superiores ao cultivar Carioca com a esperada (Tabelas 5 e 6), verifica-se que houve coerência nos resultados obtidos, como já relatado. Contudo, a probabilidade estimada foi sempre superior. Nesse caso algumas considerações são necessárias. A primeira é que foi utilizada uma amostra relativamente pequena para representar a população, isto é, 62 famílias. Apesar de não haver relatos na literatura sobre o número de famílias que representa uma população segregante de plantas autógamas, Fouilloux e Bannerot (1988) mostram que em termos de sucesso seletivo a população não necessita ser grande. Os autores comentam, considerando por exemplo 40 genes, que o máximo de alelos favoráveis que seriam acumulados na melhor linhagem avaliando 10000 famílias seria de 32. Esse número não é muito superior se fossem avaliadas apenas 100 famílias que poderia acumular, na melhor linhagem, 27,9 alelos favoráveis. Depreende-se assim que o esforço adicional para acumular a totalidade dos alelos favoráveis não é compensatório. A segunda consideração é que ocorrendo dominância a variância genética da geração  $F_2$  contém não só a variância aditiva como também a de dominância. Assim, o valor utilizado como desvio padrão fenotípico das linhagens fica inflacionado e, em consequência, superestima a probabilidade estimada. Contudo, é oportuno enfatizar novamente que, apesar da ligeira discrepância observada, o método de Jinks e Pooni

(1976) mostrou ser uma excelente alternativa na seleção precoce de populações segregantes de plantas autógamas, principalmente se associado à estimativa de  $m + a'$ .

#### 4 CONCLUSÕES

A estimativa de  $m + a'$ , obtida com as gerações  $F_1$  e  $F_2$ , foi eficiente na predição da média das linhagens na geração  $F_\infty$ . Já a estimativa de  $d$  mostrou ser um bom preditor da variância entre as famílias na geração  $F_\infty$ .

A metodologia de Jinks e Pooni (1976), mostrou-se eficiente na predição precoce do potencial genético de populações do feijoeiro, principalmente se associada à estimativa de  $m + a'$ .

#### 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A. de F. B. **Avaliação de progênies de feijoeiro do cruzamento "Carioca 80" x "Rio Tibagi" em diferentes densidades de plantio.** Lavras: ESAL, 1989. 63 p. (Dissertação - Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- ABREU, A. de F. B.; RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F. **Potencial of segregant populations of common bean from crossing of cultivars of different races.** *Euphytica*, Wageningen, 1997. (No prelo).
- ABREU, A. de F. B.; RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos. **Capacidade de combinação de cultivares de feijão de diferentes conjuntos gênicos.** In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 4, Londrina, 1993. *Anais ...* Londrina: IAPAR, 1993.
- BAENZIGER, P. S.; PETERSON, C. J. **Genetic variation: Its origin and use for breeding self-pollinated species.** In: STALKER, H. T.; MURPHY, J. P. *Plant breeding in the 1990' s.* Raleigh: North Carolina State Universty, 1991. p.69-100.



- FOUILLOUX, G., BANNEROT, H. Selection methods in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). In: GEPTS, P. **Genetics resources of *Phaseolus* beans**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1988. p. 503-541.
- GHADERI, A.; ADAMS, M. W.; NASSIB, A. M. Relationship between genetic distance and heterosis for yield and morphological traits in dry edible bean and faba bean. **Crop Science**, Madison, v. 24, n. 1, p. 37-42, Jan./Feb. 1984.
- GUTIÉRREZ, J. A.; SINGH, S. P. Heterosis and inbreeding depression in dry bush beans, *Phaseolus vulgaris* L. **Canadian Journal Plant Science**, Ottawa, v.65, n. 2, p. 243-249, Apr. 1985.
- JINKS, J. L.; POONI, H. S. Predicting the properties of recombinant imbred lines derived by single seed descent. **Heredity**, Edinburgh, v.36, n.2, p.253-266, 1976.
- KNAPP, S. J.; STROUP, W. W.; ROSS, W. M. Exact confidence intervals for heritability on a progeny mean basis. **Crop Science**, Madison, v. 25, n.1, p. 192-194, Jan./Feb. 1985.
- NIENHUIS, J.; SINGH, S. P. Combining ability analyses and relationships among yield, yield components and architectural traits in dry bean. **Crop Science**, Madison, v.26, n.1, p. 21-27, Jan./Feb. 1986
- NIENHUIS, J.; SINGH, S. P. Genetic of seed yield and its components in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) of Middle- American origins. I. General combining ability. **Plant Breeding**, Cambridge, v.101, n.2, p. 143-154, June 1988.
- OLIVEIRA, L. B. de; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B.; FERREIRA, D. F. Alternative procedures for parent choice in a breeding program for the common bean (*Phaseolus vulgaris* L. **Brazilian Journal of Genetics**, Ribeirão Preto, v.19, n.4. p. 611-615, Dec. 1996.
- OTUBO, S. T.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B.; SANTOS, J. B. dos. Genetic control of low temperature tolerance in germination of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Euphytica**, Wageningen, v. 89, n.3, p. 313-317, Mar. 1996.
- RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos; PEREIRA FILHO, I. A. Choice of parents for dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) breeding. I. Interaction of mean components by generation and by location. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v 11, n.2, p. 391-400, jun. 1988.
- SINGH, S. P.; URREA, A.C. Inter- and intraracial hybridization and selection for seed yield in early generations of common bean, *Phaseolus vulgaris* L. **Euphytica**, Wageningen, v.81, n.2, p.131-137, June 1995.
- TAKEDA, C. **Avaliação de progênies de feijoeiro do cruzamento "ESAL 501" x "A 354 em diferentes densidades de plantio**. Lavras: ESAL, 1990. 82 p. (Dissertação - Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).

- TRILLER, C. Previsão do potencial genético de cruzamentos em soja pela geração F<sub>3</sub>.** Londrina: UEL/ EMBRAPA/ IAPAR, 1994. 133 p. (Dissertação - Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas)
- VENCOVSKY, R. Herança quantitativa.** In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. **Melhoramento e produção de milho no Brasil.** 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 137-209.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. Genética biométrica no fitomelhoramento.** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 486 p.
- VIZGARRA, O. N. Capacidade de combinação de algumas cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) com diferentes mecanismos de resistência ao vírus do mosaico dourado.** Lavras: ESAL, 1991. 78 p. (Dissertação - Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).

# APÉNDICE

## APÊNDICE

**TABELA 1A. Produtividade média de grãos (g/parcela) de cultivares de feijão de diferentes raças e das populações F<sub>4</sub> de seus cruzamentos avaliados em Lavras-MG, Lambari-MG e Patos de Minas- MG.**

País*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	322													216	320	337	332	272	193	273	226	194
2		428	375					313			425	417		281	293	270	278	273	330	202	197	218
3			434					425			325	431		222	312	232	414	298	198		282	269
4				446											410	341	432	292	263		338	342
5					365									269	453	347	431	403	373		262	344
6						455								361	378	379	368	302	323		332	429
7							241							262	404	409	479	434	347		249	283
8								362			308	521		368	412	442	418	300	332		239	280
9									330					270	328	422	312	337	188	242	260	222
10										310				303	382	321	327	209	228		231	369
11											302	317		237	320	299	290	323				244
12												433		284	385	377	537	366	403		254	312
13													341	357	361	406	419	384			396	491
14														78								
15															393							
16																	282					
17																		420				
18																			317	504		195
19																				250		284 328
20																					391	285 380
21																						269 376
22																						257

\* 1. Sanilac; 2. Brasil-2; 3. A-62; 4. Porrillo Sintético; 5. Jamapa; 6. Milionário; 7. IPA-7419; 8. A-175; 9. Rojo de Seda; 10. A140; 11. Carioca; 12. Compuesto Negro Chimaltenango; 13. Puebla-152; 14. Great Northern; 15. Flor de Mayo; 16. A-114; 17. Ojo de Liebre; 18. Apetito Blanco; 19. Mont Calm; 20. Jalo; 21. Diacol Andino; 22. Perry Marrow.

TABELA 2A. Resumo da análise de variância da produtividade de grãos (g/parcela) de 22 cultivares de feijão de diferentes raças e das populações F<sub>4</sub> de seus cruzamentos avaliados em Lavras-MG, Lambari-MG e Patos de Minas-MG

FV	GL	QM		
		Lavras	Lambari	Patos de Minas
Tratamentos	143	30371,562**	22755,231*	19595,132**
Erro efetivo	121 (143) <sup>L</sup>	12490,949	11606,960	9254,328
Média		344,5	356,9	288,2
CV (%)		32,4	30,2	33,4
Eficiência do látice (%)		105,5	137,8	---

<sup>L</sup> Entre parêntesis: GL em Patos de Minas

\* e \*\* - Significativo pelo teste F ao nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

TABELA 3A. Resumo da análise de variância conjunta da produtividade de grãos (g/parcela) de 22 cultivares de feijão de diferentes raças e das populações F<sub>4</sub> de seus cruzamentos avaliados em Lavras-MG, Lambari-MG e Patos de Minas-MG.

FV	GL	QM
Lociais (L)	2	193397,373**
Tratamentos (T)	143	16492,562**
L x T	286	7352,586**
Erro Médio	385	5505,475
Média		329,9
CV (%)		32,3

\*\* - Significativo pelo teste de F ao nível de 1 % de probabilidade.

TABELA 4A. Médias das 14 características utilizadas para a análise multivariada, avaliadas em 13 parentais de diferentes raças em Lavras-MG, Lambari-MG e Patos de Minas-MG.

País <sup>1</sup>	Características <sup>2</sup>													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	11,1	8,0	10,2	7,4	10,1	7,3	44,1	7,3	17,9	63,3	10,3	4,0	16,4	428,5
2	8,6	6,8	8,2	6,4	8,1	6,4	43,0	3,9	11,6	47,8	11,8	4,1	24,3	434,3
3	8,9	6,1	8,1	5,9	8,3	5,9	45,1	4,8	8,4	36,4	6,6	4,2	17,0	362,5
4	10,1	7,1	9,3	6,8	9,5	6,9	45,3	5,0	11,3	51,3	9,4	4,5	17,6	301,7
5	9,4	7,2	9,2	6,9	8,9	6,8	44,3	4,8	11,8	46,4	10,8	4,0	23,5	433,0
6	7,3	5,5	6,6	4,9	6,6	5,1	41,4	4,7	7,3	21,9	5,1	2,8	22,3	77,5
7	7,4	5,2	7,0	4,9	6,6	4,9	45,8	7,9	10,8	45,0	10,5	4,2	24,2	393,2
8	8,1	6,0	7,6	5,4	7,6	5,5	47,7	4,3	10,5	45,5	10,4	4,3	22,0	281,8
9	8,0	6,2	7,5	6,0	7,5	6,1	42,6	6,8	7,0	23,8	7,9	3,4	34,2	419,7
10	8,0	5,2	7,2	5,2	7,1	5,2	40,7	4,9	4,7	13,8	6,1	2,8	39,3	317,2
11	9,8	6,3	9,6	5,7	9,5	5,8	40,6	7,2	5,5	13,4	5,8	2,3	38,6	249,8
12	10,3	6,7	9,8	6,0	9,9	6,1	44,1	6,1	6,8	19,2	8,6	2,8	46,3	268,7
13	9,3	5,7	9,3	5,2	9,3	5,3	42,6	6,0	8,5	23,0	9,7	2,6	42,7	257,3
CR(%) <sup>3</sup>	1,7	16,4	6,6	5,0	6,7	12,5	3,1	6,2	4,7	0,0	1,9	16,8	15,3	3,1

<sup>1</sup> 1. Brasil-2; 2. A-62; 3. A-175 4. Carioca; 5. Compuesto Negro Chimaltenango; 6. Great Northern; 7. Flor de Mayo; 8. A-114; 9. Ojo de Liebre; 10. Apetito Blanco; 11. Mont Calm; 12. Diacol Andino; 12. Perry Marrow.

<sup>2</sup> 1 e 2. Comprimento e largura, respectivamente, do folíolo central em cm; 3 e 4. Comprimento e largura, respectivamente do folíolo lateral direito em cm; 5 e 6. Comprimento e largura, respectivamente, do folíolo lateral esquerdo em cm; 7. Dias para florescimento; 8. Comprimento do quinto internódio em cm; 9. Número de vagens/ planta; 10. Número de sementes/ planta; 11. Produção de grãos em g/planta; 12. Número de sementes/ vagem; 13. Peso de 100 sementes em g; 14. Produção de grãos em g/ parcela.

<sup>3</sup> Contribuição relativa de cada característica para a divergência .