

RAFAEL SILVA RAMOS DOS ANJOS

**SELEÇÃO RECORRENTE FENOTÍPICA PELO DIÂMETRO DO  
HIPOCÓTILO NO MELHORAMENTO DA ARQUITETURA DO FEIJOEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2015

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

A597s  
2015 Anjos, Rafael Silva Ramos dos, 1989-  
Seleção recorrente fenotípica pelo diâmetro do hipocótilo  
no melhoramento da arquitetura do feijoeiro / Rafael Silva  
Ramos dos Anjos. – Viçosa, MG, 2015.  
xii, 63f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Pedro Crescêncio de Souza Carneiro.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Feijão - Melhoramento genético. 2. Feijão - Seleção.  
3. Genética quantitativa. I. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Biologia Geral. Programa de Pós-graduação  
em Genética e Melhoramento. II. Título.

CDD 22. ed. 636.652|

RAFAEL SILVA RAMOS DOS ANJOS

**SELEÇÃO RECORRENTE FENOTÍPICA PELO DIÂMETRO DO  
HIPOCÓTILO NO MELHORAMENTO DA ARQUITETURA DO FEIJOEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 27 de julho de 2015.

---

José Eustáquio de Souza Carneiro  
(Coorientador)

---

Rodrigo Oliveira de Lima

---

Pedro Crescêncio Souza Carneiro  
(Orientador)

*À minha família e a todos que contribuíram para minha formação.*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por minha existência e por todas as oportunidades.

Aos meus familiares, por todo apoio que recebi durante minha vida.

À minha mãe Marícia, por todo amor e dedicação ao cumprir em minha vida as funções de mãe e pai.

Ao meu avô Joaquim (*in memoriam*), por despertar em mim, ainda na minha infância, o interesse pelas Ciências Agrárias.

A todos os professores que contribuíram para minha formação profissional, desde os que me alfabetizaram na infância aos que me orientaram na pós-graduação.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, pela oportunidade de realizar o curso de mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Pedro Crescêncio Souza Carneiro, pela orientação de qualidade ímpar, pelos ensinamentos transmitidos, pela confiança depositada em mim e pela amizade que nasceu durante esse período que trabalhamos juntos.

Ao professor José Eustáquio de Souza Carneiro, pelos ensinamentos transmitidos e pelo treinamento que recebi na condução de um programa de melhoramento de plantas.

Aos membros da banca, professores Rodrigo Oliveira de Lima e José Eustáquio de Souza Carneiro, pela disponibilidade e sugestões para o enriquecimento deste trabalho.

Aos colegas do Programa Feijão, pelo trabalho em equipe, fundamental na condução do programa de melhoramento, e pela troca de experiências.

Ao Gilberto e aos funcionários da estação experimental de Coimbra, Sebastião, Fonseca, Carlinhos, Douglas, Pereira, Nilson, Potoca, João Ambires e Beto, pelo auxílio na condução dos experimentos.

À secretaria do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, nas pessoas do Marco Túlio e do Odilon, pela atenção e disponibilidade de ajuda.

A todos que contribuíram para realização deste trabalho.

**MUITO OBRIGADO!**

## **BIOGRAFIA**

RAFAEL SILVA RAMOS DOS ANJOS, filho de Marícia Aparecida Silva e Daniel Ramos dos Anjos, nasceu em 20 de fevereiro de 1989, em Guaratinguetá, estado de São Paulo. Em 1994, mudou-se para Heliadora, município localizado no sul do estado de Minas Gerais, onde viveu até o ano de 2008.

Em fevereiro de 2008, ingressou na Universidade Federal de Viçosa, obtendo o título de Engenheiro Agrônomo em maio de 2013.

Em agosto de 2013, iniciou o curso de Mestrado em Genética e Melhoramento na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de dissertação em julho de 2015.

## SUMÁRIO

ÍNDICE DE TABELAS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
RESUMO .....	ix
ABSTRACT .....	xi
INTRODUÇÃO GERAL .....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	8
CAPÍTULO I - Progresso genético de um ciclo de seleção recorrente fenotípica no melhoramento da arquitetura do feijoeiro por meio do diâmetro do hipocótilo .....	11
1. Resumo .....	12
2. Abstract .....	14
3. Introdução .....	16
4. Material e métodos .....	19
5. Resultados e discussão .....	25
6. Conclusões .....	31
7. Referências bibliográficas .....	32
CAPÍTULO II - Potencial de progênies endogâmicas de um ciclo de seleção recorrente fenotípica no melhoramento da arquitetura do feijoeiro .....	34
1. Resumo .....	35
2. Abstract .....	37
3. Introdução .....	39
5. Resultados e discussão .....	47
5.1. Progênies do ciclo zero ( $C_0$ ) .....	47
5.2. Progênies do ciclo um ( $C_1$ ) .....	50
5.3. Ganho com a seleção recorrente fenotípica .....	53
6. Conclusões .....	60
7. Referências bibliográficas .....	61

## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1. ....	20
TABELA 2. ....	20
TABELA 3. ....	21
TABELA 4. ....	26
TABELA 5. ....	27
TABELA 6. ....	29
TABELA 7. ....	48
TABELA 8. ....	51
TABELA 9. ....	54
TABELA 10. ....	57
TABELA 11. ....	58
TABELA 12. ....	59

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ....	21
FIGURA 2. ....	44
FIGURA 3. ....	54

## RESUMO

ANJOS, Rafael Silva Ramos dos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2015. **Seleção recorrente fenotípica pelo diâmetro do hipocótilo no melhoramento da arquitetura do feijoeiro.** Orientador: Pedro Crescêncio Souza Carneiro. Coorientadores: José Eustáquio de Souza Carneiro e Cosme Damião Cruz.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficácia da seleção recorrente fenotípica, pelo diâmetro do hipocótilo, no melhoramento da arquitetura de plantas do feijoeiro. A população base (ciclo zero –  $C_0$ ) foi constituída por 20 populações selecionadas a partir de 48 híbridos  $F_1$ 's, com base em cruzamentos em esquema de dialelo parcial (6 x 8) entre 14 linhagens de feijoeiro. A população do primeiro ciclo de seleção recorrente (ciclo um –  $C_1$ ) foi formada a partir da recombinação das plantas  $F_2$  do ciclo  $C_0$  que apresentaram os maiores diâmetro de hipocótilo. As 20 populações do ciclo  $C_0$  foram recombinadas em esquema de dialelo circulante, utilizando como unidade de recombinação quatro plantas oriundas de sementes  $F_3$  das quatro plantas que apresentaram os maiores diâmetros de hipocótilo de cada população do ciclo  $C_0$ . Assim, foram obtidas 20 populações do ciclo  $C_1$ . As 20 populações do ciclo  $C_0$  e as 20 populações do ciclo  $C_1$  foram avançadas até a geração  $F_4$ , quando foram avaliadas em um mesmo experimento, juntamente com nove testemunhas na safra da seca de 2013. As populações foram avaliadas, em nível de plantas individuais, quanto ao diâmetro do hipocótilo e a produção de grãos; e em nível de parcela, quanto à nota de arquitetura de plantas e a produtividade de grãos. Na geração  $F_2$  de cada uma das populações dos ciclos  $C_0$  e  $C_1$  foram selecionadas as 19 plantas de maior diâmetro do hipocótilo para avaliação de suas progênies, totalizando em 380 progênies do ciclo  $C_0$  e 380 progênies do ciclo  $C_1$ . As gerações  $F_{2:3}$  e  $F_{2:4}$  das 380 progênies do ciclo  $C_0$  foram avaliadas, respectivamente, nas safras do inverno de 2011 e da seca de 2012. Já as avaliações das gerações  $F_{2:3}$  e  $F_{2:4}$  das 380 progênies do ciclo  $C_1$  foram realizadas, respectivamente, nas safras do inverno de 2012 e da seca de 2014. As 380 progênies dos ciclos  $C_0$  e  $C_1$  foram avaliadas juntamente com 13 testemunhas. As características avaliadas foram nota de arquitetura de plantas, produtividade de grãos e aspecto comercial de grãos tipo carioca. Os dados obtidos a partir das populações e das progênies foram utilizados na estimação do progresso genético do programa de seleção recorrente fenotípico baseado no diâmetro do hipocótilo. Observou-se estimativas de progresso genético para notas de arquitetura de plantas de 4,93%, com base na avaliação das populações, e de 1,79%,

com base na avaliação das progênies. Também houve ganho para diâmetro do hipocótilo na avaliação das populações (4,95%), indicando associação desta característica com arquitetura mais ereta de plantas. Observou-se que entre as dez populações que apresentaram maiores probabilidades de extração de linhagens superiores quanto à arquitetura, oito foram do ciclo C<sub>1</sub> e apenas duas do ciclo C<sub>0</sub>. Assim, conclui-se que a seleção fenotípica por meio do diâmetro do hipocótilo é eficaz no melhoramento da arquitetura do feijoeiro.

## ABSTRACT

ANJOS, Rafael Silva Ramos dos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2015. **Phenotypic recurrent selection by hypocotyl diameter in improvement the beans architecture.** Adviser: Pedro Crescêncio Souza Carneiro. Co-advisers: José Eustáquio de Souza Carneiro and Cosme Damião Cruz.

The objective of this study was to evaluate the efficacy of phenotypic recurrent selection, by hypocotyl diameter in the improvement of bean plant architecture. The base population (cycle zero -  $C_0$ ) was composed of 20 populations selected from 48  $F_1$ 's hybrids, based on partially cross diallel design (6 x 8) between 14 beans lines. The population of the first recurrent selection cycle (cycle one -  $C_1$ ) was formed from recombination of the  $C_0$  cycle  $F_2$  plants that showed the highest hypocotyl diameter. The 20 populations of  $C_0$  cycle were crossed in diallel circulating design, using as recombination unit four plants from  $F_3$  seeds of the four plants that had the highest hypocotyl diameters of each population of  $C_0$  cycle. Thus, it was obtained 20 populations of the  $C_1$  cycle. The 20 populations of the  $C_0$  cycle and  $C_1$  cycle of 20 populations were advanced until  $F_4$  generation, when they were evaluated in the same experiment together with nine checks in the drought season of 2013. The populations were evaluated at the level of individual plants, about the hypocotyl diameter and grain yield ; and plot level, about the architecture note of plants and grain yield. In the  $F_2$  generation of each population of cycles  $C_0$  and  $C_1$  were selected the 19 plants of larger hypocotyl diameter to evaluate their progeny, totaling 380 progenies of  $C_0$  cycle and 380 progenies of  $C_1$  cycle. The generations  $F_{2:3}$  and  $F_{2:4}$  of 380 progenies of  $C_0$  cycle were evaluated, respectively, in the winter seasons 2011 and in the drought season 2012. Already evaluations of generations  $F_{2:3}$  and  $F_{2:4}$  of 380 progenies  $C_1$  cycle were, respectively, in the winter season 2012 and the drought season 2014. The 380 progenies of  $C_0$  and  $C_1$  cycles were evaluated together with 13 witnesses. The characteristics evaluated were note of plant architecture, grain yield and commercial aspect of carioca grain beans. The data obtained from the populations and progenies were used to estimate the genetic progress of phenotypic recurrent selection program by hypocotyl diameter. It was observed genetic progress for notes of architecture plants of 4.93%, based on the evaluation of populations, and 1.79%, based on the evaluation of the progenies. There were also gains for hypocotyl diameter in evaluation of the populations (4.95%), indicating association of this feature with architecture more erect

of plants. We observed that between ten populations that have higher probabilities of extraction higher lines about the architecture, eight were in the  $C_1$  cycle and only two of the  $C_0$  cycle. Thus, we concluded that the phenotypic selection by hypocotyl diameter is effective in improving bean architecture.

## INTRODUÇÃO GERAL

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é um dos mais importantes constituintes da dieta da população brasileira, sendo reconhecido como excelente fonte de proteína, carboidratos e minerais, especialmente o ferro. No ano de 2011, o consumo brasileiro *per capita* dessa leguminosa foi de aproximadamente 18 kg ano<sup>-1</sup> (BORÉM e CARNEIRO, 2015).

Na safra 2013/14, a produção de feijão no Brasil foi de 3.453.700 toneladas (CONAB, 2015). No entanto, a média de produtividade de feijão no país é considerada baixa, como pode ser observado na safra 2013/14, em que a produtividade média de feijão foi de 1.026 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2015). Entre as principais causas da baixa produtividade observada, destacam-se a predominância de pequenos e médios agricultores, que utilizam baixo nível tecnológico na produção de feijão; além disso, fatores climáticos, como escassez ou má distribuição de chuvas influenciam no baixo rendimento, uma vez que a irrigação não é prática comum entre os produtores de feijão (BORÉM e CARNEIRO, 2015).

Diferentes tipos de feijões são cultivados no país, dentre eles pode-se citar feijões dos tipos preto, carioca, roxo, mulatinho, rosinha, vermelho e manteigão (VIEIRA et al., 2005). No entanto, destaca-se o feijão do tipo carioca, que é aceito em praticamente todo o Brasil, respondendo por 52% da área cultivada com feijão (MAPA, 2015) e por 79% dos tipos de feijão consumidos no país (CARNEIRO et al., 2012).

Nos últimos anos, a cultura do feijoeiro também tem despertado interesse dos grandes produtores, com uso de alta tecnologia (VIEIRA et al., 2005), de modo que existem agricultores brasileiros que já ultrapassam a marca de produtividade de 3.000 kg ha<sup>-1</sup> (BORÉM e CARNEIRO, 2015). No Brasil o feijão é cultivado em três safras: das águas (plantio de agosto a novembro), da seca (plantio de dezembro a março) e do

inverno (plantio de abril a julho). O grande produtor de feijão tem optado pelo cultivo do feijão no outono / inverno. Nessa safra utiliza-se alta tecnologia e é necessário o uso de irrigação. Isso deixa a cultura menos vulnerável a fatores climáticos, proporcionando maior estabilidade de produção, além de possibilitar a obtenção de grãos de melhor qualidade, pois a colheita é feita em período seco. Além disso, permite a expansão da cultura na entressafra de outras culturas, como o milho (ARAÚJO e FERREIRA, 2006).

Devido a essa melhoria do nível tecnológico empregado na cultura do feijoeiro pelos grandes produtores, a busca por plantas de arquitetura mais ereta que facilitem os tratos culturais e, principalmente, a colheita mecanizada, tem despertado o interesse dos melhoristas de feijão em desenvolver cultivares de arquitetura mais ereta (COLLICCHIO et al., 1997; SILVA et al., 2009). Plantas de arquitetura mais ereta, além de permitirem a colheita mecanizada com menores perdas e facilitarem os tratos culturais, reduzem a incidência de doenças, como o mofo-branco, e possibilitam a obtenção de grãos de melhor qualidade, uma vez que reduz o contato das vagens com o solo úmido quando a colheita coincide com longos períodos chuvosos (RAMALHO et al., 1998; TEIXEIRA et al., 1999; PIRES et al., 2014).

A arquitetura da planta do feijoeiro é uma característica complexa, dependente de outros caracteres, como o hábito de crescimento, o número e ângulo de ramificações, o número e comprimento dos entrenós, a altura da planta, a distribuição das vagens e o diâmetro do hipocótilo (SANTOS e VENCOSKY, 1986; TEIXEIRA et al., 1999). De modo geral, a avaliação da arquitetura do feijoeiro tem sido realizada por meio de uma escala de notas (COLLICCHIO et al., 1997; RAMALHO et al., 1998; TEIXEIRA et al., 1999; MENEZES JÚNIOR et al., 2008; MENDES et al., 2009; SILVA et al., 2009; MENEZES JÚNIOR et al., 2013; PIRES et al., 2014). No entanto, a avaliação visual,

por meio de notas, exige experiência dos avaliadores para uma avaliação mais precisa e acurada da arquitetura de plantas do feijoeiro.

Em face dessa dificuldade, alguns trabalhos foram realizados no intuito de identificar caracteres relacionados com arquitetura de plantas de feijoeiro e com potencial de serem utilizados na seleção indireta para plantas de arquitetura mais ereta (ACQUAAH et al., 1991; OLIVEIRA, 2012; MOURA et al., 2013; SILVA et al., 2013; POERSCH, 2013).

Em um trabalho envolvendo análise de trilha, Moura et al. (2013) observaram que o ângulo de inserção dos ramos, a altura das plantas e o diâmetro do hipocótilo foram os principais caracteres relacionados à arquitetura de plantas do feijoeiro. Os autores destacaram o potencial do diâmetro do hipocótilo como indicador efetivo da arquitetura de plantas do feijoeiro, uma vez que esse caráter apresentou alta correlação genética e alto efeito direto sobre nota de arquitetura de plantas. Segundo os autores, os maiores diâmetros de hipocótilo estão associados a plantas de arquitetura mais ereta.

A associação entre diâmetro do hipocótilo e arquitetura de plantas em feijoeiro também foi verificada por Silva et al. (2013). Com base em cruzamentos em esquema de dialelo parcial, esses autores também verificaram predominância de efeitos gênicos aditivos no controle genético do diâmetro do hipocótilo e maior estimativa de herdabilidade no sentido amplo (0,81) para este caráter em relação à nota de arquitetura de plantas (0,60), o que fortalece o potencial do diâmetro do hipocótilo na seleção indireta de plantas mais eretas.

Com o objetivo de verificar o potencial do diâmetro do hipocótilo na seleção de plantas de arquitetura mais ereta, Oliveira (2012) e Poersch (2013) avaliaram a associação entre o diâmetro do hipocótilo de plantas  $F_2$  e a nota de arquitetura de suas progênies. Esses autores observaram baixa correlação entre os dados de plantas

individuais e de suas respectivas progênies. Entretanto, verificaram associação entre o valor médio do diâmetro do hipocótilo de grupos de no mínimo quatro plantas F<sub>2</sub> com a nota média de arquitetura de plantas de suas progênies. Conforme esses autores, os resultados obtidos indicam elevada influência ambiental na manifestação do caráter diâmetro do hipocótilo. No entanto, o uso de grupos de plantas permite que entre as plantas selecionadas estejam aquelas de maior valor genotípico para diâmetro do hipocótilo. Desse modo, Poersch (2013) propõem o uso de quatro plantas com maior diâmetro do hipocótilo como unidade de recombinação em programas de melhoramento que visem à obtenção de genótipos de feijoeiro com arquitetura mais ereta.

Pelo fato da arquitetura do feijoeiro ser uma característica complexa e controlada por vários genes (TEIXEIRA et al., 1999); e como relata Silva et al. (2013) que os alelos de interesse para essa característica encontram-se em diferentes linhagens, a chance de obter genótipos que reúnam a maioria dos alelos favoráveis em apenas uma etapa de cruzamento (cruzamento biparental) é muito pequena. Desse modo, a seleção recorrente (HULL, 1945) é uma estratégia promissora no melhoramento da arquitetura de plantas de feijoeiro, uma vez que essa estratégia visa aumentar as chances de obter genótipos com o maior número de alelos favoráveis a partir de repetidos ciclos de seleção e recombinação (RAMALHO et al., 2012).

A seleção recorrente pode ser realizada com base na seleção de indivíduos (seleção fenotípica ou massal) ou com base na seleção de progênies, na qual se utiliza a população estruturada em progênies (BORÉM e MIRANDA, 2009). A seleção recorrente fenotípica apresenta maior potencial para características de alta herdabilidade, uma vez que considera somente informações sobre o fenótipo dos indivíduos como critérios de seleção (BUENO et al., 2006). A principal vantagem da

seleção recorrente fenotípica é a redução do tempo necessário para cada ciclo de seleção, o que acelera o processo de seleção recorrente (RAMALHO et al., 2012).

Para programas de seleção recorrente com plantas autógamas, Ramalho et al. (2012) propõem que as hibridações sejam realizadas de forma direcionada e simultânea ao processo de seleção. Assim, uma estratégia é realizar os cruzamentos em esquema de dialelo circulante (BEARZOTI, 1997), em que cada genitor, ou população, participa de dois cruzamentos em cada ciclo de seleção. Desse modo, a partir de uma população base estruturada em 20 populações oriundas de cruzamentos biparentais, por exemplo, é possível obter 20 populações do primeiro ciclo de seleção recorrente. Os cruzamentos direcionados, em esquema de dialelo circulante, permitem que nos sucessivos ciclos de intercruzamentos a contribuição de cada genitor seja a mesma, além de que ao longo dos ciclos de seleção recorrente aumenta-se o número de genitores envolvidos na genealogia das populações.

A seleção recorrente tem sido empregada com sucesso na cultura do feijoeiro. Menezes Júnior et al. (2008), avaliando os caracteres produtividade de grãos, arquitetura de planta e tipo de grãos em feijão carioca, observaram progresso genético de 3,1% considerando as três características simultaneamente. Em um programa de seleção recorrente de feijão vermelho, Menezes Júnior et al. (2013) estimaram progresso genético de 7,5% para produtividade de grãos, 7% para tipo de grão, 33,4% para resistência a ferrugem e 13,2% para resistência a mancha-angular. Cabe ressaltar que esses programas de melhoramento basearam-se na avaliação, seleção e recombinação de progênies.

A seleção recorrente fenotípica também tem se destacado na cultura do feijoeiro. Amaro et al. (2007), em um programa de seleção recorrente com base na seleção e recombinação das plantas de feijoeiro mais resistentes a mancha-angular

(*Pseudocercospora griseola*), estimaram progresso genético de 6,4% por ciclo de seleção para resistência à essa doença. Esse progresso foi estimado a partir da avaliação de progênies  $S_{0:1}$  de cinco ciclos seletivos. Segundo os autores, a estratégia de seleção recorrente fenotípica permitiu obter um ciclo de seleção por ano, o que evidencia redução do tempo necessário para cada ciclo de seleção recorrente comparado à avaliação de progênies.

Silva et al. (2007) alcançaram ganhos de 2,2% ao ano quanto à redução do número de dias para o florescimento, também utilizando seleção recorrente fenotípica. Segundo os autores, sementes  $S_0$  foram semeadas no campo e as plantas que emitiram os primeiros botões florais foram intercruzadas, manualmente, por um período de cinco dias sucessivos. Com essa estratégia, a seleção e recombinação foram realizadas na mesma safra de cultivo das populações. Resultados promissores também foram obtidos por Pires et al. (2014) com a seleção recorrente fenotípica, em que os autores relataram ganhos de 1,62% para arquitetura de plantas por ciclo de seleção recorrente massal, baseado na avaliação visual das plantas.

Na seleção recorrente, o progresso genético deve ser estimado periodicamente para orientar os melhoristas a respeito das estratégias de seleção utilizadas (MENEZES JÚNIOR et al., 2008; RAMALHO et al., 2012). A estimação do progresso genético apresenta diferenças nas metodologias empregadas em plantas alógamas e autógamias. Para alógamas, como após cada recombinação a população atinge o equilíbrio de Hardy-Weinberg, o progresso genético é estimado comparando-se as populações dos diferentes ciclos. Em plantas autógamias, a frequência genotípica é alterada ao longo das gerações devido à endogamia e, dependendo da ocorrência de dominância no controle do caráter, a média pode ser alterada. Dessa forma, uma alternativa para estimar o progresso genético em plantas autógamias é avaliar linhagens que são obtidas ao final de

cada ciclo seletivo (RAMALHO et al., 2012). No entanto, o tempo requerido para a obtenção das linhagens pode ser considerado um inconveniente no uso dessa metodologia nas estimativas de ganhos nos programas de seleção recorrente. A utilização das populações ou progênies em gerações mais avançadas de endogamia é uma alternativa para estimativas dos ganhos com a seleção recorrente, em especial para caracteres cujo controle genético é devido aos efeitos gênicos aditivos em predominância.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficácia da seleção recorrente fenotípica, pelo diâmetro do hipocótilo, no melhoramento da arquitetura de plantas do feijoeiro, considerando estimativas de progresso genético com base em populações e progênies em gerações avançadas de endogamia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACQUAAH, G.; ADAMS, M. W.; KELLY, J. D. Identification of effective indicators of erect plant architecture in dry bean. **Crop Science**, Madison, v.31, n.2, p.261-264, Mar./Apr. 1991.
- AMARO, G. B.; ABREU, A. F. B. ; RAMALHO, M. A. P.; SILVA, F. B. Phenotypic recurrent selection in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) with carioca-type grains for resistance to the fungi *Phaeoisariopsis griseola*. **Genetics and Molecular Biology**, v.30, p.584-588, 2007.
- ARAÚJO, G. A. A.; FERREIRA, A. C. B. Manejo do Solo e Plantio. In: VIEIRA, C.; PAULA JR., T. J.; BORÉM, A. **Feijão**. 2. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2006. p.87-114.
- BEARZOTI, E. **Simulação de Seleção Recorrente Assistida por Marcadores Moleculares em Espécies Autógamas**. 1997. 230 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.
- BORÉM, A.; CARNEIRO, J. E. S. A Cultura. In: CARNEIRO, J. E. S.; PAULA JR., T. J.; BORÉM, A. **Feijão: do plantio à colheita**. 1. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2015. p.9-15.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de Plantas**. 5 ed. Viçosa: Ed. UFV, 2009. 529 p.
- BUENO, L. C. S.; MENDES, A. N. G.; CARVALHO, S. P. **Melhoramento genético de plantas: Princípios e procedimentos**. 2 ed. Lavras: Ed. UFLA, 2006. 319 p.
- CARNEIRO, J. E. S.; ABREU, A. F. B.; RAMALHO, M. A. P.; PAULA JR., T. J.; PELOSO, M. J. D.; MELO, L. C.; PEREIRA, H. S.; PEREIRA FILHO, I. A.; MARTINS, M.; VIEIRA, R. F.; MARTINS, F. A. D.; COELHO, M. A. O.; CARNEIRO, P. C. S.; MOREIRA, J. A. A.; SANTOS, J. B.; FARIA, L. C.; COSTA, J. G. C.; TEIXEIRA, H. BRSMG Madrepérola: common bean cultivar with late-darkening Carioca grain. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. Londrina, v.12, n.4, p.281-284, 2012.
- COLLICCHIO, E.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Associação entre porte de planta do feijoeiro e o tamanho dos grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.32, n.3, p.297-304, 1997.
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 13 de julho de 2015.
- HULL, F. H. Recurrent selection and specific combining ability in corn. **Journal of the American Society Agronomy**, v.37, p. 134-145, 1945.
- MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br>. Acesso em: 13 de julho de 2015.

MENDES, F. F.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Índice de seleção para escolha de populações segregantes de feijoeiro-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.44, n.10, p.1312-1318, out. 2009.

MENEZES JÚNIOR, J. A. N.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Seleção recorrente para três caracteres do feijoeiro. **Bragantia**. Campinas, v.67, n.4, p.833-838, 2008.

MENEZES JÚNIOR, J. A. N.; REZENDE JÚNIOR, L. S.; ROCHA, G. S.; SILVA, V. M. P.; PEREIRA, A. C.; CARNEIRO, P. C. S.; PETERNELLI, L. A.; CARNEIRO, J. E. S. Two cycles of recurrent selection in red bean breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. v.13, n.1, p.41-48, 2013.

MOURA, M. M.; CARNEIRO, P. C. S.; CARNEIRO, J. E. S.; CRUZ, C. D. Potencial de caracteres na avaliação da arquitetura de plantas de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.48, n.4, p.417-425, 2013.

OLIVEIRA, A. M. **Estratégias de seleção visando melhoramento da arquitetura do feijoeiro**. 2012. 56 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PIRES, L. P. M.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; FERREIRA, M. C. Recurrent mass selection for upright plant architecture in common bean. **Scientia Agricola**. v.71, n.3, p.240-243, 2014.

POERSCH, N. L. **Diâmetro do hipocótilo como caráter auxiliar no melhoramento da arquitetura do feijoeiro**. 2013. 40 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

RAMALHO, M. A. P.; PIROLA, L. H.; ABREU, A. F. B. Alternativas na seleção de plantas de feijoeiro com porte ereto e grão tipo carioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.33, n.12, p.1989-1994, 1998.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B.; NUNES, J. A. R. **Aplicações da Genética Quantitativa no Melhoramento de Plantas Autógamas**. 1. ed. Lavras: Ed. UFLA, 2012. 522 p.

SANTOS, J. B.; VENCOVSKY, R. Controle genético de alguns componentes do porte da planta em feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.21, n.9, p.957-963, 1986.

SILVA, F. B.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Seleção recorrente fenotípica para florescimento precoce de feijoeiro 'Carioca'. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.42, n.10, p.1437-1442, 2007.

SILVA, C. A.; ABREU, A. F. B.; RAMALHO, M. A. P. Associação entre arquitetura de planta e produtividade de grãos em progênies de feijoeiro de porte ereto e prostrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.44, n.12, p.1647-1652, 2009.

SILVA, V. M. P.; MENEZES JÚNIOR, J. A. N.; CARNEIRO, P. C. S.; CARNEIRO, J. E. S.; CRUZ, C. D. Genetic improvement of plant architecture in the common bean. **Genetics and Molecular Research**. v.12, n.3, p.3093-3102, 2013.

TEIXEIRA, F. F.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Genetic control of plant architecture in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Genetics and Molecular Biology**. v.22, n.4, p.577-582, 1999.

VIEIRA, C.; BORÉM, A.; RAMALHO, M. A. P.; CARNEIRO, J. E. S. Melhoramento do Feijão. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2005. p. 301-392.

## **CAPÍTULO I**

### **PROGRESSO GENÉTICO DE UM CICLO DE SELEÇÃO RECORRENTE FENOTÍPICA NO MELHORAMENTO DA ARQUITETURA DO FEIJOEIRO POR MEIO DO DIÂMETRO DO HIPOCÓTILO**

## 1. Resumo

Este trabalho foi realizado com o objetivo de estimar o progresso genético para a característica arquitetura de plantas do feijoeiro após um ciclo de seleção recorrente fenotípica por meio do diâmetro do hipocótilo. A população base (ciclo zero –  $C_0$ ) foi constituída por 20 populações, selecionadas a partir de 48 híbridos  $F_1$ 's com base em cruzamentos em esquema de dialelo parcial (6 x 8) entre 14 linhagens de feijoeiro. A população do primeiro ciclo de seleção recorrente (ciclo um –  $C_1$ ) foi obtida a partir da recombinação das 20 populações do ciclo  $C_0$  em esquema de dialelo circulante, utilizando como unidade de recombinação quatro plantas  $F_3$ , oriundas das quatro plantas  $F_2$  de maior diâmetro do hipocótilo selecionadas em cada população do ciclo  $C_0$ . Assim, foram obtidas 20 populações do ciclo  $C_1$ . As 20 populações do ciclo  $C_0$  e as 20 populações do ciclo  $C_1$  foram avançadas até a geração  $F_4$ , quando foram avaliadas em um mesmo experimento, juntamente com nove testemunhas, na safra da seca de 2013. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, com três repetições e parcelas constituídas de quatro linhas de 3,0 m e espaçadas em 0,5 m. As populações foram avaliadas, em nível de plantas individuais, quanto ao diâmetro do hipocótilo e a produção de grãos; e em nível de parcelas, quanto à nota de arquitetura de plantas e a produtividade de grãos. Os dados obtidos de plantas individuais das populações dos ciclos  $C_0$  e  $C_1$ , na geração  $F_4$ , foram utilizados para estimar o potencial das populações para extração de linhagens superiores; e os valores médios de nota de arquitetura, diâmetro do hipocótilo e produtividade de grãos das populações foram utilizados para estimar os ganhos obtidos com um ciclo de seleção recorrente fenotípica. Com base na seleção recorrente fenotípica, pelo diâmetro do hipocótilo, obteve-se ganhos de 4,93% para notas de arquitetura de plantas, de 4,95% para diâmetro do hipocótilo e não houve alteração expressiva na produtividade de grãos. Também observou-se que entre as dez

populações que apresentaram maiores probabilidades de extração de linhagens superiores quanto à arquitetura, oito foram do ciclo C<sub>1</sub> e apenas duas do ciclo C<sub>0</sub>. Conclui-se que a seleção indireta pelo diâmetro do hipocótilo é efetiva no melhoramento da arquitetura de plantas do feijoeiro por meio da seleção recorrente fenotípica, sem reduzir a produtividade de grãos.

Palavras-chave: progresso genético; Jinks e Pooni; arquitetura ereta; *Phaseolus vulgaris*.

## 2. Abstract

This work was carried out with objective of estimate the genetic progress for traits related with bean plant architecture after one cycle of phenotypic recurrent selection by hypocotyl diameter. The base population (cycle zero -  $C_0$ ) was composed of 20 populations selected from 48  $F_1$ 's hybrids, based on partially cross diallel design (6 x 8) between 14 bean lines. The population of first recurrent selection cycle (cycle one -  $C_1$ ) was obtained from the recombination of 20 populations  $C_0$  cycle in scheme of circulating diallel, using as recombination unit four  $F_3$  plants from the four  $F_2$  plants of greater hypocotyls diameter selected in each population of  $C_0$  cycle. Thus, there was obtained 20 populations of the  $C_1$  cycle. The 20 populations of the  $C_0$  cycle and  $C_1$  cycle of 20 populations were advanced even  $F_4$  generation, when they were evaluated in the same experiment together with nine witnesses in the drought season 2013. I used the randomized block design with three replications and plots consisting of four rows of 3.0 m, spaced of 0.5 m. The populations were evaluated at the level of individual plants, about the hypocotyls diameter and grain yield; and in plot level, about the note plant architecture and grain yield. The data obtained from individual plants of the populations of cycles  $C_0$  and  $C_1$ , in the  $F_4$  generation were used to estimate the potential of population for extracting superior lines; and the average values of note architecture, hypocotyl diameter and grain yield of the population were used to estimate the gains obtained with a phenotypic recurrent selection cycle. Based on phenotypic recurrent selection, by diameter of hypocotyl, was obtained 4.93% gains for note plant architecture, 4.95% for diameter hypocotyl and there was not significant change in grain yield. Also it was observed that between the two populations that have higher probabilities of extraction lines higher about the architecture, eight were in the  $C_1$  cycle and only two of the  $C_0$  cycle. I conclude that indirect selection by the diameter of

hypocotyl is effective in improving the bean plant architecture by phenotypic recurrent selection without reducing grain yield.

Keywords: genetic gain; Jinks and Pooni; architecture erect; *Phaseolus vulgaris*.

### 3. Introdução

Nos últimos anos, devido à expansão da cultura do feijoeiro em áreas irrigadas e a um maior emprego de tecnologias na cultura, os programas de melhoramento de feijão carioca têm buscado desenvolver novos cultivares que associem elevada produtividade, grãos dentro dos padrões comerciais e arquitetura ereta de plantas (COLLICCHIO et al., 1997; CUNHA et al., 2005; MENEZES JÚNIOR et al., 2008; SILVA et al., 2009).

Plantas com arquitetura mais ereta permitem uma colheita mecanizada com menores perdas; facilita a locomoção de implementos agrícolas, reduzindo danos à cultura; melhora o arejamento, reduzindo incidência de doenças como o mofo-branco; e reduz o contato das vagens com o solo úmido, possibilitando obtenção de grãos de melhor qualidade (RAMALHO et al., 1998; TEIXEIRA et al., 1999; PIRES et al., 2014).

A avaliação da arquitetura do feijoeiro por meio de escala de notas é amplamente utilizada pelos melhoristas de feijão (COLLICCHIO et al., 1997; RAMALHO et al., 1998; TEIXEIRA et al., 1999; MENEZES JÚNIOR et al., 2008; MENDES et al., 2009; SILVA et al., 2009; MENEZES JÚNIOR et al., 2013; PIRES et al., 2014). No entanto, a arquitetura do feijoeiro é uma característica complexa, dependente de outros caracteres (SANTOS e VENCOVSKY, 1986; TEIXEIRA et al., 1999). Assim, para uma avaliação mais precisa e acurada da arquitetura do feijoeiro por meio da escala de notas, exige-se experiência dos avaliadores. Além disso, a escala de notas apresenta uso limitado em nível de plantas individuais (MOURA et al., 2013; SILVA et al., 2013).

Na busca por caracteres relacionados à arquitetura do feijoeiro e com potencial de serem utilizados na seleção indireta para essa característica, Moura et al. (2013) relataram que o diâmetro do hipocótilo em feijoeiro apresenta alta correlação genética

de alto efeito direto com nota de arquitetura de plantas, de modo que plantas mais eretas apresentam maiores valores de diâmetro do hipocótilo.

Rocha (2012) relata que a associação observada entre diâmetro do hipocótilo e nota de arquitetura de plantas ocorre em virtude de genes pleiotrópicos com efeitos aditivos. Além disso, Poersch (2013) verificou associação entre a média dos valores de diâmetro de hipocótilo de grupos de no mínimo quatro plantas  $F_2$  e a nota média de arquitetura de suas respectivas progênes. Estes trabalhos evidenciam o potencial do uso do diâmetro do hipocótilo na seleção indireta para melhoramento da arquitetura de plantas do feijoeiro.

Para características controladas por vários genes, como a arquitetura do feijoeiro (TEIXEIRA et al., 1999), o melhoramento genético realizado por meio de ciclos de seleção (seleção recorrente) aumenta as chances de obter genótipos com o maior número de alelos favoráveis (RAMALHO et al., 2012). A seleção recorrente pode ser estruturada de duas maneiras, com base na avaliação e seleção de progênes ou baseada na seleção fenotípica em nível de indivíduos (BORÉM e MIRANDA, 2009). Na seleção recorrente fenotípica o tempo necessário para a obtenção de cada ciclo de seleção é reduzido em relação à seleção no âmbito de progênes (RAMALHO et al., 2012). Na cultura do feijoeiro, a seleção recorrente fenotípica tem sido empregada com sucesso em programas de melhoramento visando a resistência a *Pseudocercospora griseola* (AMARO et al., 2007), a precocidade de florescimento (SILVA et al., 2007) e ao melhoramento da arquitetura de plantas (PIRES et al., 2014).

Ramalho et al. (2012) relatam que, na seleção recorrente em plantas autógamas, obter a população base e depois iniciar a seleção pode não ser a melhor opção, recomendando que as hibridações sejam de forma direcionada e simultânea ao processo de seleção. Neste caso, uma estratégia é realizar os cruzamentos em esquema de dialelo

circulante (BEARZOTI, 1997), de modo que cada genitor ou população participe de dois cruzamentos em cada ciclo de seleção. Assim, as populações obtidas em ciclos mais avançados apresentam em suas genealogias um maior número de genitores. Isso permite aumentar a média da característica sob seleção e manter, ou até mesmo aumentar, a variabilidade genética da população, o que permite progressos genéticos futuros.

As estimativas de progresso genético em programas de seleção recorrente permitem ao melhorista inferir sobre a eficácia da seleção recorrente e sobre a necessidade de alguns ajustes. Entretanto, o progresso genético estimado em programas de seleção recorrente em autógamias tem se baseado, em geral, apenas na média entre os ciclos de seleção (RAMALHO et al., 2012). Jinks e Pooni (1976) propuseram uma metodologia para avaliação de populações que utiliza as estimativas da média e variância de uma população na avaliação do seu potencial para extração de linhagens superiores.

Assim, os objetivos deste trabalho foram estimar, com base em populações, o progresso genético obtido em um programa de seleção recorrente fenotípica para arquitetura do feijoeiro, por meio da seleção indireta pelo diâmetro do hipocótilo; e prever o potencial das populações pela metodologia de Jinks e Pooni (1976), visando extração de linhagens superiores quanto à arquitetura de plantas e produtividade de grãos.

#### 4. Material e métodos

A partir do cruzamento entre 14 linhagens de feijoeiro (Tabela 1) em esquema de dialelo parcial (6 x 8), obtidos por Silva (2011), Poersch (2013) selecionou as 20 populações mais promissoras considerando os efeitos de capacidade geral e específica de combinação dos caracteres notas de arquitetura de plantas, diâmetro do hipocótilo e produtividade de grãos. Essas populações constituíram o ciclo zero ( $C_0$ ) (população base) do programa de seleção recorrente (Tabela 2).

Na geração  $F_2$ , sementes de cada uma das 20 populações do ciclo  $C_0$  foram semeadas em campo na safra da seca de 2011, utilizando parcelas de cinco linhas de quatro metros. As plantas  $F_2$  foram colhidas na maturação fisiológica e, por meio de um paquímetro digital, foram obtidas medidas de diâmetro do hipocótilo em aproximadamente 200 plantas de cada população. O diâmetro do hipocótilo foi medido um centímetro abaixo do nó cotiledonar, conforme demonstrado na Figura 1.

As quatro plantas  $F_2$  de maior diâmetro do hipocótilo de cada população do ciclo  $C_0$  foram selecionadas para recombinação, de modo que a unidade de recombinação foi constituída de quatro plantas  $F_3$ . As 20 populações do ciclo  $C_0$  foram recombinadas em esquema de dialelo circulante (BEARZOTI, 1997), obtendo-se 20 populações do ciclo um ( $C_1$ ) do programa de seleção recorrente fenotípica (Tabela 3).

As 20 populações do ciclo  $C_0$  e as 20 populações do ciclo  $C_1$  foram avançadas em *bulk* até a geração  $F_4$ , quando foram avaliadas em um mesmo experimento, juntamente com nove testemunhas (BRS Valente, BRS Campeiro, BRSMG Madrepérola, Pérola, BRSMG Talismã, CNFC 9437, A805, A170 e A525), na safra da seca de 2013.

**Tabela 1.** Origem, tipo de grão, tipo de planta e porte de 14 linhagens de feijão utilizadas nos cruzamentos dialélicos parcial 6 x 8 (SILVA, 2011)

Genitor <sup>1/</sup>	Origem	Tipo de grão	Tipo de planta	Porte
BRS Valente	Embrapa	Preto	II	Ereto
BRS Supremo	Embrapa	Preto	II	Ereto
IPR Uirapuru	IAPAR	Preto	II	Ereto
BRS Horizonte	Embrapa	Carioca	II	Ereto
CNFC 9466	Embrapa	Carioca	II	Ereto
A805	CIAT	Carioca	II	Ereto
A170	CIAT	Mulatinho	II	Ereto
A525	CIAT	Mulatinho	II	Ereto
VC6	UFV	Carioca	II/III	Semiprostrado
BRSMG Majestoso	UFLA	Carioca	II/III	Semiprostrado
BRSMG Madrepérola	UFV	Carioca	III	Prostrado
L1 <sup>2/</sup>	UFV	Carioca	II/III	Semiprostrado
L2 <sup>3/</sup>	UFV	Carioca	III	Prostrado
L3 <sup>4/</sup>	UFV	Carioca	III	Prostrado

<sup>1/</sup> Os oito primeiros genitores constituíram o grupo 1 e os demais o grupo 2 para os cruzamentos dialélicos

<sup>2/</sup> Linhagem proveniente do cruzamento UTF 0013 / Rudá-R

<sup>3/</sup> Linhagem proveniente do cruzamento GEN 12-2 / Rudá-R

<sup>4/</sup> Linhagem proveniente do cruzamento CNFC 9437 / Rudá-R

**Tabela 2.** Cruzamentos utilizados na formação das 20 populações do ciclo C<sub>0</sub> (população base) do programa de seleção recorrente (POERSCH, 2013). Número de identificação dos cruzamentos e genitores envolvidos na genealogia das populações

Nº do cruzamento	Genealogia
455	BRS Valente / BRSMG Madrepérola
463	BRS Supremo / L2
464	BRS Supremo / L3
471	BRS Horizonte / VC6
473	BRS Horizonte / BRSMG Madrepérola
474	BRS Horizonte / L1
476	BRS Horizonte / L3
477	CNFC 9466 / VC6
479	CNFC 9466 / BRSMG Madrepérola
484	A805 / BRSMG Majestoso
485	A805 / BRSMG Madrepérola
487	A805 / L2
488	A805 / L3
489	A170 / VC6
491	A170 / BRSMG Madrepérola
493	A170 / L2
494	A170 / L3
496	A525 / BRSMG Majestoso
498	A525 / L1
499	A525 / L2



**Figura 1.** Diâmetro do hipocótilo medido um centímetro abaixo do nó cotiledonar com o auxílio de um paquímetro digital.

**Tabela 3.** Cruzamentos utilizados na formação das 20 populações do ciclo  $C_1$  do programa de seleção recorrente. Número de identificação dos cruzamentos e genitores envolvidos na genealogia das populações

Nº do cruzamento	Genealogia
501	BRS Valente / BRSMG Madrepérola // BRS Horizonte / L1
502	BRS Supremo / L2 // BRS Horizonte / L3
503	BRS Supremo / L3 // CNFC 9466 / VC6
504	BRS Horizonte / VC6 // CNFC 9466 / BRSMG Madrepérola
505	BRS Horizonte / BRSMG Madrepérola // A805 / BRSMG Majestoso
506	BRS Horizonte / L1 // A805 / BRSMG Madrepérola
507	BRS Horizonte / L3 // A805 / L2
508	CNFC 9466 / VC6 // A805 / L3
509	CNFC 9466 / BRSMG Madrepérola // A170 / VC6
510	A805 / BRSMG Majestoso // A170 / BRSMG Madrepérola
511	A805 / BRSMG Madrepérola // A170 / L2
512	A805 / L2 // A170 / L3
513	A805 / L3 // A525 / BRSMG Majestoso
514	A170 / VC6 // A525 / L1
515	A170 / BRSMG Madrepérola // A525 / L2
516	A170 / L2 // BRS Valente / BRSMG Madrepérola
517	A170 / L3 // BRS Supremo / L2
518	A525 / BRSMG Majestoso // BRS Supremo / L3
519	A525 / L1 // BRS Horizonte / VC6
520	A525 / L2 // BRS Horizonte / BRSMG Madrepérola

Os experimentos foram conduzidos no Campo Experimental de Coimbra, pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, localizado no município de Coimbra, MG, a uma latitude de 20°49'S, longitude de 42°45'W e altitude de 720 metros. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, com três repetições e parcelas constituídas de quatro linhas de três metros de comprimento, espaçadas em 0,5 metro e com semeadura de 12 sementes por metro. As populações foram avaliadas quanto à arquitetura de plantas, produção de grãos por planta, diâmetro do hipocótilo e produtividade de grãos.

A arquitetura de plantas foi avaliada por meio de uma escala de notas de 1 a 5, adaptada de Collicchio (1995). A nota 1 refere-se à planta do tipo III, com internódios longos e muito prostrada; nota 2, à planta do tipo III, medianamente prostrada; nota 3, à planta do tipo III, semi-ereta, com muitas ramificações e tendendo a prostrada; nota 4, à planta do tipo II, ereta e com algumas ramificações; e nota 5, à planta do tipo II, ereta, com uma haste e com inserção alta das primeiras vagens.

Para a avaliação do diâmetro do hipocótilo e produção de grãos por planta, foi colhida uma das linhas centrais de cada parcela e obtidas medidas de plantas individuais. O diâmetro do hipocótilo foi medido um centímetro abaixo do nó cotiledonar, por meio de um paquímetro digital.

A produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) foi obtida considerando a produção de três linhas da parcela.

Os dados de notas de arquitetura de plantas, produtividade de grãos e os dados médios de diâmetro do hipocótilo foram submetidos à análise de variância. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa GENES (CRUZ, 2013). As médias das características das populações dos ciclos  $C_0$  e  $C_1$  foram utilizadas para estimar os ganhos obtidos com a seleção. Adotou-se a acurácia seletiva como medida de

precisão experimental, sendo estimada com base na fórmula:  $\hat{r}_{gg} = (1 - 1/F)^{1/2}$  (RESENDE, 2002).

As médias de notas de arquitetura de plantas, diâmetro do hipocótilo e produtividade de grãos, das populações dos ciclos  $C_0$  e  $C_1$ , foram utilizadas para estimar o progresso genético obtido para cada característica. O progresso genético foi estimado de acordo com a expressão:

$$P(\%) = [(\hat{\mu}_{C_1} - \hat{\mu}_{C_0}) / \hat{\mu}_{C_0}] \times 100$$

Em que:

$P(\%)$ : progresso genético em porcentagem;

$\hat{\mu}_{C_1}$ : média das populações do ciclo  $C_1$ ;

$\hat{\mu}_{C_0}$ : média das populações do ciclo  $C_0$ .

Cada população foi avaliada quanto à probabilidade de extração de linhagens superiores, de acordo com a metodologia proposta por Jinks e Pooni (1976). Essa probabilidade, que corresponde à área à direita de um determinado valor de  $x$  na abscissa da distribuição normal padronizada, é calculada estimando a variável  $Z$  pela expressão:

$$Z = (x - m)/s$$

Em que:

$x$  = Média da linhagem-padrão;

$m$  = Média das linhagens na geração infinito ( $F_\infty$ ), que corresponde à média de qualquer outra geração em um modelo sem dominância;

$s$  = Desvio padrão fenotípico entre as linhagens.

Para uma população  $i$ , na geração  $F_4$ , a variável  $Z$  é estimada a partir da expressão:

$$Z_i = (\bar{L} - \bar{F}_{4i}) / \sqrt{1,143\hat{\sigma}_{F_{4i}}^2 - 0,143\hat{\sigma}_E^2}$$

Em que:

$\bar{L}$  = média da linhagem padrão acrescida em 20% nos seus valores;

$\bar{F}_{4i}$  = média da população i na geração F<sub>4</sub>, que corresponde à média das linhagens obtidas na ausência de seleção na geração F<sub>∞</sub>;

$\hat{\sigma}_{F_{4i}}^2$  = variância fenotípica da população i na geração F<sub>4</sub>;

$\hat{\sigma}_E^2$  = variância ambiental, estimada a partir das testemunhas.

Os caracteres considerados foram o diâmetro do hipocótilo e a produção de grãos por planta. As linhagens utilizadas como padrão para diâmetro de hipocótilo e produção de grãos por planta foram a A525 e a cultivar Pérola, respectivamente. As médias das linhagens utilizadas como padrão foram acrescidas em 20% nos seus valores ( $\bar{L}$ ).

As populações foram classificadas quanto à probabilidade de extração de linhagens superiores para cada característica isoladamente e, também, considerou-se as duas características simultaneamente. Para classificação das populações quanto à probabilidade de extração de linhagens superiores para os dois caracteres simultaneamente, as probabilidades foram padronizadas e somadas.

## 5. Resultados e discussão

Houve efeito significativo ( $P < 0,01$ ) de tratamentos e de seus desdobramentos (populações, populações do ciclo  $C_0$ , populações do ciclo  $C_1$  e testemunhas) sobre as características arquitetura de plantas, diâmetro do hipocótilo e produtividade de grãos, indicando variabilidade tanto entre as populações do ciclo  $C_0$  quanto do ciclo  $C_1$  (Tabela 4).

Os contrastes envolvendo as populações dos ciclos  $C_0$  e  $C_1$  (POP  $C_0$  vs. POP  $C_1$ ) foram significativos para os caracteres arquitetura de plantas e diâmetro do hipocótilo, e não significativo para produtividade de grãos. Assim, em relação às populações do ciclo  $C_0$ , as populações do ciclo  $C_1$  apresentaram médias de notas de arquitetura e de diâmetro do hipocótilo superiores. Estes resultados apontam que, em média, as populações do ciclo  $C_1$  são de arquitetura mais ereta, apresentaram maiores diâmetro de hipocótilo e não tiveram suas produtividades alteradas em relação às populações do ciclo  $C_0$  em razão da seleção baseada no diâmetro do hipocótilo para a obtenção das populações do ciclo  $C_1$ .

Observou-se elevados valores de acurácia para os caracteres arquitetura de plantas (0,88), diâmetro do hipocótilo (0,84) e produtividade de grãos (0,90), considerando a avaliação das populações (Tabela 4). Conforme Resende e Duarte (2007), estes valores de acurácia classificam os experimentos nas classes de precisão alta (acurácia  $\geq 0,70$ ) a muito alta (acurácia  $\geq 0,90$ ). Ainda conforme relata Resende e Duarte (2007), os valores de acurácia não são diretamente proporcionais aos valores de CVe, a exemplo de arquitetura de plantas e diâmetro do hipocótilo, que apresentaram CVe de 9,43% e 5,53%, respectivamente.

**Tabela 4.** Resumo das análises de variância referentes às populações dos ciclos C<sub>0</sub> e C<sub>1</sub> avaliadas quanto à nota de arquitetura de plantas (ARQ); diâmetro do hipocótilo, em mm, (DH); e produtividade de grãos, em kg ha<sup>-1</sup>, (PG)

FV	GL	QM		
		ARQ	DH	PG
Blocos	2	0,7435	0,6134	1167410,8981
Tratamentos	48	0,7491 <sup>**</sup>	0,3407 <sup>**</sup>	567296,9700 <sup>**</sup>
Populações (POP)	39	0,4991 <sup>**</sup>	0,2295 <sup>**</sup>	419402,5122 <sup>**</sup>
POP C <sub>0</sub>	19	0,6500 <sup>**</sup>	0,1600 <sup>**</sup>	620362,2245 <sup>**</sup>
POP C <sub>1</sub>	19	0,3289 <sup>**</sup>	0,2321 <sup>**</sup>	236079,9026 <sup>**</sup>
POP C <sub>0</sub> vs. POP C <sub>1</sub>	1	0,8670 <sup>**</sup>	1,5008 <sup>**</sup>	84297,5623 <sup>ns</sup>
Testemunhas (TEST)	8	1,6875 <sup>**</sup>	0,7001 <sup>**</sup>	1295585,6511 <sup>**</sup>
POP vs. TEST	1	2,9903 <sup>**</sup>	1,8045 <sup>**</sup>	508871,3713 <sup>*</sup>
Resíduo	96	0,1067	0,0680	81331,8320
Média POP		3,53	4,76	2105,72
Média POP C <sub>0</sub>		3,45	4,65	2132,22
Média POP C <sub>1</sub>		3,62	4,88	2079,21
Média TEST		3,17	4,48	1953,77
CVe (%)		9,43	5,53	13,73
Acurácia ( $\hat{r}_{gg}$ )		0,88	0,84	0,90

<sup>ns, \*\*, \*</sup> não significativo e significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Os progressos genéticos obtidos para notas de arquitetura de plantas e diâmetro do hipocótilo foram, respectivamente, de 4,93% e 4,95% (Tabela 5). Estes resultados indicam a eficácia do diâmetro do hipocótilo na seleção indireta para melhoria da arquitetura de plantas do feijoeiro.

Para produtividade de grãos houve uma redução de 2,49% (Tabela 5). No entanto, essa redução observada para produtividade de grãos não deve ser considerada, pois o contraste envolvendo as populações dos ciclos C<sub>0</sub> e C<sub>1</sub> (POP C<sub>0</sub> vs. POP C<sub>1</sub>) não apresentou efeito significativo para produtividade de grãos. Esses resultados concordam com os de Silva et al. (2009), que relatam ser possível a seleção de plantas de arquitetura mais ereta e produtivas. Esses autores observaram que, embora exista correlação negativa entre arquitetura ereta de plantas e produtividade de grãos em

**Tabela 5.** Progresso genético para os caracteres arquitetura de plantas, diâmetro do hipocótilo e produtividade de grãos, com um ciclo de seleção recorrente fenotípica por meio do diâmetro do hipocótilo. Médias de notas de arquitetura de plantas (ARQ); de diâmetro do hipocótilo, em mm, (DH); e de produtividade de grãos, em kg ha<sup>-1</sup>, (PG)

	Médias das características		
	ARQ	DH	PG
Populações do C <sub>0</sub>	3,45	4,65	2132,22
Populações do C <sub>1</sub>	3,62	4,88	2079,21
<b>Progresso genético (%)</b>	4,93	4,95	-2,49

feijoeiro, essa é uma associação de pequena magnitude, sendo possível obter plantas de arquitetura mais eretas e produtivas.

Ramalho et al. (2012) relatam que em programas de melhoramento de plantas autógamas com base em seleção recorrente, as populações não se encontram em equilíbrio de Hardy-Weinberg, uma vez que a cada ciclo de recombinação os cruzamentos são direcionados e, além disso, há alteração nas frequências genotípicas com o avanço das gerações de endogamia. Desta forma, as médias de caracteres que exibem desvios de dominância em seus controles genéticos seriam alteradas em função dessas variações nas frequências genotípicas, mesmo na ausência de seleção. Assim, o autor recomenda que as estimativas de progresso genético devem-se basear no desempenho de linhagens obtidas de cada um dos ciclos de recombinação. Entretanto, cabe ressaltar que além das populações avaliadas neste trabalho estarem na geração F<sub>4</sub>, Silva et al. (2013) relataram predominância de efeitos aditivos no controle genético dos caracteres diâmetro do hipocótilo e nota de arquitetura de plantas do feijoeiro, o que torna possível o uso das médias dessas populações na estimação do progresso genético para essas características.

Alguns trabalhos apontam sucesso com a seleção recorrente fenotípica na cultura do feijoeiro. Como exemplo, Amaro et al. (2007) estimaram progresso genético de 6,4% para resistência a mancha-angular (*Pseudocercospora griseola*) a partir da

recombinação das plantas de feijoeiro mais resistentes à doença. Silva et al. (2007), intercruzando plantas que emitiram os primeiros botões florais, alcançaram ganhos de 2,2% ao ano quanto à redução do número de dias para o florescimento. Pires et al. (2014), recombinação de plantas de arquitetura mais ereta, obtiveram ganhos de 1,62% para arquitetura de plantas por ciclo de seleção recorrente. Porém, estes trabalhos estimaram o progresso com a seleção recorrente fenotípica a partir das médias de progênies derivadas de cada ciclo de seleção, de modo que o uso exclusivo da média das progênies apresenta limitações na informação do potencial das populações das quais foram derivadas as progênies. Assim, a avaliação do potencial das populações quanto à probabilidade para extração de linhagens superiores, metodologia que utiliza estimativas de média e variância das populações (JINKS e POONI, 1976), pode avaliar melhor a eficácia da estratégia de seleção utilizada no programa de seleção recorrente.

Os valores de probabilidade para extração de linhagens superiores nas populações dos ciclos  $C_0$  e  $C_1$ , com base na metodologia de Jinks e Pooni (1976), estão apresentados na Tabela 6. Para a característica diâmetro do hipocótilo, observou-se que entre as dez populações (25%) que apresentaram maiores probabilidades de extração de linhagens superiores, considerando como padrão a linhagem A525, oito populações são do ciclo  $C_1$  e apenas duas do ciclo  $C_0$ . Cabe ressaltar que estas duas do ciclo  $C_0$  foram classificadas na nona e décima posição. Considerando as dez populações com os menores potenciais para extração de linhagens superiores, ou seja, com os menores PSP, observa-se que apenas uma população pertence ao ciclo  $C_1$ , enquanto que nove populações são do ciclo  $C_0$  (Tabela 6). Estes resultados, associados aos ganhos obtidos para notas de arquitetura de plantas (4,93%) e diâmetro do hipocótilo (4,95%), apontam que a seleção indireta baseada no diâmetro do hipocótilo no esquema de seleção recorrente fenotípica foi eficaz para melhoria da arquitetura de plantas do feijoeiro.

**Tabela 6.** Probabilidade de obtenção de linhagens (PSP, em %) que superam a linhagem A525 em 20% para diâmetro do hipocótilo (DH); que superam a cultivar Pérola em 20% para produção de grãos; e que superam as duas características simultaneamente (PSP-Total). Médias do DH (mm) e da produção de grãos (g planta<sup>-1</sup>) de 40 populações de feijoeiro (POP), avaliadas na safra da seca de 2013. Coimbra, MG

Diâmetro do hipocótilo			Produção de grãos			Total	
POP	Média	PSP	POP	Média	PSP	POP	PSP
503-C <sub>1</sub>	5,40 (3,7) <sup>1</sup>	20,61	455-C <sub>0</sub>	17,16	64,80	514-C <sub>1</sub>	3,81
512-C <sub>1</sub>	5,14 (3,5)	20,61	514-C <sub>1</sub>	15,38	59,10	512-C <sub>1</sub>	3,17
518-C <sub>1</sub>	5,21 (4,0)	19,77	479-C <sub>0</sub>	15,46	55,96	503-C <sub>1</sub>	2,82
514-C <sub>1</sub>	5,34 (4,0)	17,88	504-C <sub>1</sub>	15,14	53,19	504-C <sub>1</sub>	2,81
513-C <sub>1</sub>	4,96 (3,8)	15,87	511-C <sub>1</sub>	14,21	48,80	518-C <sub>1</sub>	2,51
504-C <sub>1</sub>	5,13 (3,4)	15,62	509-C <sub>1</sub>	13,97	48,01	455-C <sub>0</sub>	2,35
511-C <sub>1</sub>	4,83 (3,7)	15,15	512-C <sub>1</sub>	13,93	47,61	511-C <sub>1</sub>	2,29
519-C <sub>1</sub>	5,14 (4,0)	13,14	519-C <sub>1</sub>	13,64	47,21	519-C <sub>1</sub>	1,77
496-C <sub>0</sub>	4,89 (4,2)	11,90	477-C <sub>0</sub>	13,33	45,22	509-C <sub>1</sub>	1,31
489-C <sub>0</sub>	4,93 (4,2)	11,70	471-C <sub>0</sub>	13,30	44,04	479-C <sub>0</sub>	1,25
494-C <sub>0</sub>	4,83 (3,0)	11,51	503-C <sub>1</sub>	13,46	44,04	494-C <sub>0</sub>	1,04
509-C <sub>1</sub>	4,88 (3,5)	10,20	485-C <sub>0</sub>	13,36	42,86	496-C <sub>0</sub>	0,85
464-C <sub>0</sub>	4,92 (3,7)	10,03	494-C <sub>0</sub>	13,48	42,86	477-C <sub>0</sub>	0,82
477-C <sub>0</sub>	5,02 (3,7)	9,01	518-C <sub>1</sub>	13,27	42,47	513-C <sub>1</sub>	0,73
501-C <sub>1</sub>	4,80 (3,8)	7,78	487-C <sub>0</sub>	12,22	40,90	501-C <sub>1</sub>	0,02
520-C <sub>1</sub>	4,70 (3,0)	7,35	515-C <sub>1</sub>	12,91	40,90	471-C <sub>0</sub>	-0,31
463-C <sub>0</sub>	4,58 (3,0)	7,21	473-C <sub>0</sub>	13,03	40,13	520-C <sub>1</sub>	-0,36
455-C <sub>0</sub>	4,98 (2,8)	6,81	496-C <sub>0</sub>	12,55	40,13	464-C <sub>0</sub>	-0,37
498-C <sub>0</sub>	4,84 (4,2)	6,81	501-C <sub>1</sub>	12,25	39,36	487-C <sub>0</sub>	-0,38
517-C <sub>1</sub>	4,82 (3,8)	6,68	505-C <sub>1</sub>	11,99	38,21	517-C <sub>1</sub>	-0,45
502-C <sub>1</sub>	4,78 (3,5)	6,43	516-C <sub>1</sub>	12,26	37,45	485-C <sub>0</sub>	-0,46
506-C <sub>1</sub>	4,50 (3,7)	6,18	517-C <sub>1</sub>	12,04	36,69	515-C <sub>1</sub>	-0,47
516-C <sub>1</sub>	4,72 (3,3)	6,06	510-C <sub>1</sub>	11,63	36,32	516-C <sub>1</sub>	-0,48
479-C <sub>0</sub>	4,81 (3,0)	5,59	520-C <sub>1</sub>	11,64	36,32	463-C <sub>0</sub>	-0,57
484-C <sub>0</sub>	4,47 (3,2)	5,37	463-C <sub>0</sub>	11,19	34,46	505-C <sub>1</sub>	-0,59
507-C <sub>1</sub>	4,47 (3,3)	5,37	491-C <sub>0</sub>	11,37	34,09	473-C <sub>0</sub>	-0,92
505-C <sub>1</sub>	4,66 (3,2)	5,05	507-C <sub>1</sub>	10,53	34,09	507-C <sub>1</sub>	-0,94
487-C <sub>0</sub>	4,58 (3,2)	4,75	484-C <sub>0</sub>	11,69	33,72	510-C <sub>1</sub>	-0,96
515-C <sub>1</sub>	4,64 (3,2)	4,27	506-C <sub>1</sub>	10,80	32,28	506-C <sub>1</sub>	-0,97
510-C <sub>1</sub>	4,51 (3,5)	4,09	488-C <sub>0</sub>	10,99	31,92	484-C <sub>0</sub>	-0,98
499-C <sub>0</sub>	4,31 (3,8)	3,75	513-C <sub>1</sub>	11,12	31,56	502-C <sub>1</sub>	-1,34
471-C <sub>0</sub>	4,55 (3,0)	3,44	464-C <sub>0</sub>	11,66	31,21	489-C <sub>0</sub>	-1,41
485-C <sub>0</sub>	4,53 (3,3)	3,29	474-C <sub>0</sub>	10,78	31,21	498-C <sub>0</sub>	-1,43
508-C <sub>1</sub>	4,75 (4,2)	3,14	476-C <sub>0</sub>	11,43	30,50	491-C <sub>0</sub>	-1,45
488-C <sub>0</sub>	4,42 (3,8)	3,07	508-C <sub>1</sub>	10,87	29,12	488-C <sub>0</sub>	-1,57
491-C <sub>0</sub>	4,58 (3,8)	2,56	502-C <sub>1</sub>	10,71	28,10	508-C <sub>1</sub>	-1,84
493-C <sub>0</sub>	4,40 (3,5)	2,39	498-C <sub>0</sub>	9,74	26,43	476-C <sub>0</sub>	-1,88
473-C <sub>0</sub>	4,49 (2,8)	2,22	499-C <sub>0</sub>	9,64	22,96	474-C <sub>0</sub>	-1,99
476-C <sub>0</sub>	4,55 (3,7)	2,17	489-C <sub>0</sub>	9,58	17,62	499-C <sub>0</sub>	-2,33
474-C <sub>0</sub>	4,33 (3,7)	1,16	493-C <sub>0</sub>	9,63	17,62	493-C <sub>0</sub>	-3,11
A525	5,20 (3,8)	-	-	6,11	-	-	-
Pérola	4,04 (2,3)	-	-	12,01	-	-	-

<sup>1</sup> valores entre parênteses referem-se às médias de nota de arquitetura de plantas atribuída às parcelas.

Para a característica produção de grãos por planta, entre as dez populações com maior probabilidade de extração de linhagens superiores, seis são oriundas do ciclo  $C_1$  e quatro do ciclo  $C_0$  (Tabela 6). Este resultado associado à não significância do contraste entre médias das populações do  $C_0$  e do  $C_1$  para produtividade de grãos (Tabela 4), indica que a seleção indireta baseada no diâmetro do hipocótilo não alterou a média e a variância para a característica produtividade de grãos.

Considerando as características diâmetro do hipocótilo e produção de grãos simultaneamente (Tabela 6), observa-se que das dez populações mais promissoras, oito pertencem ao ciclo  $C_1$ . Desse modo, verifica-se que a seleção indireta por meio do diâmetro do hipocótilo, além de permitir o melhoramento das populações quanto ao potencial de extração de linhagens de arquitetura mais ereta, não influencia no potencial das populações quanto à extração de linhagens produtivas. Estes resultados são concordantes com os trabalhos de Silva et al. (2009) e Rocha (2012) que relatam ser possível obter genótipos mais produtivos e com plantas de arquitetura mais ereta.

Os resultados obtidos neste trabalho confirmam as expectativas de Silva et al. (2013), Moura et al. (2013) e de Poersch (2013) quanto ao potencial do diâmetro do hipocótilo na seleção indireta para o melhoramento da arquitetura de plantas do feijoeiro por meio da seleção recorrente fenotípica.

## **6. Conclusões**

- A seleção indireta pelo diâmetro do hipocótilo é efetiva no melhoramento da arquitetura de plantas do feijoeiro por meio da seleção recorrente fenotípica.
- As populações do ciclo  $C_1$ , em relação ao  $C_0$ , apresentam maior potencial para extração de linhagens superiores quanto à arquitetura de plantas e produtividade de grãos, simultaneamente.

## 7. Referências bibliográficas

AMARO, G. B.; ABREU, A. F. B. ; RAMALHO, M. A. P.; SILVA, F. B. Phenotypic recurrent selection in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) with carioca-type grains for resistance to the fungi *Phaeoisariopsis griseola*. **Genetics and Molecular Biology**, v.30, p.584-588, 2007.

BEARZOTI, E. **Simulação de Seleção Recorrente Assistida por Marcadores Moleculares em Espécies Autógamas**. 1997. 230 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de Plantas**. 5 ed. Viçosa: Ed. UFV, 2009. 529 p.

COLLICCHIO, E. **Associação entre o porte da planta do feijoeiro e o tamanho dos grãos**. 1995. 98 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

COLLICCHIO, E.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Associação entre porte de planta do feijoeiro e o tamanho dos grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.32, n.3, p.297-304, 1997.

CRUZ, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**. v.35, n.3, p.271-276, 2013.

CUNHA, W. G.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Selection aiming at upright growth habit common bean with carioca type grains. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. v.5, p.379-386, 2005.

JINKS, J.L.; POONI, H.S. Predicting the properties of recombinant inbred lines derived by single seed descent. **Heredity**. v.36, n.2, p.253-266, 1976.

MENDES, F. F.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Índice de seleção para escolha de populações segregantes de feijoeiro-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.44, n.10, p.1312-1318, out. 2009.

MENEZES JÚNIOR, J. A. N.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Seleção recorrente para três caracteres do feijoeiro. **Bragantia**. Campinas, v.67, n.4, p.833-838, 2008.

MENEZES JÚNIOR, J. A. N.; REZENDE JÚNIOR, L. S.; ROCHA, G. S.; SILVA, V. M. P.; PEREIRA, A. C.; CARNEIRO, P. C. S.; PETERNELLI, L. A.; CARNEIRO, J. E. S. Two cycles of recurrent selection in red bean breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. v.13, n.1, p.41-48, 2013.

MOURA, M. M.; CARNEIRO, P. C. S.; CARNEIRO, J. E. S.; CRUZ, C. D. Potencial de caracteres na avaliação da arquitetura de plantas de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.48, n.4, p.417-425, 2013.

PIRES, L. P. M.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; FERREIRA, M. C. Recurrent mass selection for upright plant architecture in common bean. **Scientia Agricola**. v.71, n.3, p.240-243, 2014.

POERSCH, N. L. **Diâmetro do hipocótilo como caráter auxiliar no melhoramento da arquitetura do feijoeiro**. 2013. 40 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

RAMALHO, M. A. P.; PIROLA, L. H.; ABREU, A. F. B. Alternativas na seleção de plantas de feijoeiro com porte ereto e grão tipo carioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.33, n.12, p.1989-1994, 1998.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B.; NUNES, J. A. R. **Aplicações da Genética Quantitativa no Melhoramento de Plantas Autógamas**. 1. ed. Lavras: Ed. UFLA, 2012. 522 p.

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

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

ROCHA, G. S. **Causas de correlação entre caracteres e efeito de ambientes na predição do potencial de populações segregantes no melhoramento do feijoeiro**. 2012. 68p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SANTOS, J. B.; VENCOVSKY, R. Controle genético de alguns componentes do porte da planta em feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.21, n.9, p.957-963, 1986.

SILVA, F. B.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Seleção recorrente fenotípica para florescimento precoce de feijoeiro 'Carioca'. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.42, n.10, p.1437-1442, 2007.

SILVA, C. A.; ABREU, A. F. B.; RAMALHO, M. A. P. Associação entre arquitetura de planta e produtividade de grãos em progênies de feijoeiro de porte ereto e prostrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.44, n.12, p.1647-1652, 2009.

SILVA, V. M. P. **Melhoramento genético do porte do feijoeiro**. 2011. 73 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SILVA, V. M. P.; MENEZES JÚNIOR, J. A. N.; CARNEIRO, P. C. S.; CARNEIRO, J. E. S.; CRUZ, C. D. Genetic improvement of plant architecture in the common bean. **Genetics and Molecular Research**. v.12, n.3, p.3093-3102, 2013.

TEIXEIRA, F. F.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Genetic control of plant architecture in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Genetics and Molecular Biology**. v.22, n.4, p.577-582, 1999.

## **CAPÍTULO II**

### **POTENCIAL DE PROGÊNIES ENDOGÂMICAS DE UM CICLO DE SELEÇÃO RECORRENTE FENOTÍPICA NO MELHORAMENTO DA ARQUITETURA DO FEIJOEIRO**

## 1. Resumo

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o potencial de progênies endogâmicas após um ciclo de seleção recorrente fenotípica por meio do diâmetro do hipocótilo, visando o melhoramento da arquitetura do feijoeiro. A população base (ciclo zero –  $C_0$ ) foi constituída por 20 populações selecionadas a partir de 48 híbridos  $F_1$ 's com base em cruzamentos em esquema de dialelo parcial (6 x 8) entre 14 linhagens de feijoeiro. A população do primeiro ciclo de seleção recorrente (ciclo um –  $C_1$ ) foi formada a partir da recombinação das 20 populações do ciclo  $C_0$  em esquema de dialelo circulante, utilizando como unidade de recombinação quatro plantas oriundas de sementes  $F_3$  das quatro plantas  $F_2$  que apresentaram os maiores diâmetros de hipocótilo em cada população do ciclo  $C_0$ . Assim, foram obtidas 20 populações do ciclo  $C_1$ . Na geração  $F_2$  de cada uma das populações dos ciclos  $C_0$  e  $C_1$  foram selecionadas as 19 plantas de maior diâmetro do hipocótilo para avaliação de suas progênies, totalizando em 380 progênies do ciclo  $C_0$  e 380 progênies do ciclo  $C_1$ . As gerações  $F_{2:3}$  e  $F_{2:4}$  das 380 progênies do ciclo  $C_0$  foram avaliadas, respectivamente, nas safras do inverno de 2011 e da seca de 2012. Já as avaliações das gerações  $F_{2:3}$  e  $F_{2:4}$  das 380 progênies do ciclo  $C_1$  foram realizadas, respectivamente, nas safras do inverno de 2012 e da seca de 2014. As 380 progênies dos ciclos  $C_0$  e  $C_1$  foram avaliadas juntamente com 13 testemunhas. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, com três repetições e parcelas constituídas de duas linhas de 1,0 m de comprimento, com espaçamento entre linhas de 0,5 m e semeadura de 15 sementes por metro. As características avaliadas foram nota de arquitetura de plantas, produtividade de grãos e aspecto comercial de grãos tipo carioca. Para comparação dos experimentos e estimação do ganho obtido com a seleção, os valores médios dos caracteres das progênies foram corrigidos pelo efeito de ambiente, estimado a partir dos genitores de cada população (testemunhas). O

progresso genético estimado para arquitetura de plantas foi de 1,79%, indicando que, em média, as progênies do C<sub>1</sub> são mais eretas em relação às do ciclo C<sub>0</sub>. Observou-se redução de 0,97% em produtividade de grãos e ganhos de 4,62% para aspecto de grãos. No entanto, observou-se que o percentual de aumento na média de notas de arquitetura de plantas das 38 melhores progênies do ciclo C<sub>1</sub> (3,40%) apresentou valor de maior magnitude que o progresso genético estimado para esta característica (1,79%) considerando todas as progênies. Entretanto, houve redução nas notas médias de aspecto de grãos de 2,40%. Em relação à produtividade de grãos, praticamente não houve alteração nas médias das progênies selecionadas de cada ciclo (0,58%). Pela avaliação de progênies, conclui-se que a seleção fenotípica por meio do diâmetro do hipocótilo foi eficaz no melhoramento da arquitetura do feijoeiro sem prejudicar a produtividade de grãos.

Palavras-chave: progresso genético; arquitetura ereta; potencial de progênies, *Phaseolus vulgaris*.

## 2. Abstract

This work was carried out to evaluate the potential of inbreeding progenies after one phenotypic recurrent selection cycle by hypocotyl diameter aiming to improve bean architecture. The base population (cycle zero -  $C_0$ ) was composed of 20 populations selected from 48  $F_1$ 's hybrids, based on partially cross diallel design (6 x 8) between 14 bean lines. The population of first recurrent selection cycle (cycle one -  $C_1$ ) was obtained from the recombination of 20 populations  $C_0$  cycle in scheme of circulating diallel, using as recombination unit four  $F_3$  plants from the four  $F_2$  plants of greater diameter hypocotyl selected in each population of  $C_0$  cycle. Thus, was obtained 20 population of the  $C_1$  cycle. In the  $F_2$  generation of each of the populations of the  $C_0$  and  $C_1$  cycles were selected the 19 plants of larger hypocotyls diameter to evaluate their progeny, totaling 380 progenies of  $C_0$  cycle and 380 progenies of  $C_1$  cycle. The generations  $F_{2:3}$  and  $F_{2:4}$  of 380 progenies of  $C_0$  cycle were evaluated, respectively, in the winter seasons 2011 and in the drought season 2012. Already evaluations of generations  $F_{2:3}$  and  $F_{2:4}$  of 380 progenies  $C_1$  cycle were, respectively, in the winter season 2012 and the drought season 2014. The 380 progenies of  $C_0$  and  $C_1$  cycles were evaluated together with 13 witnesses. Was used a randomized complete block design with three replicates and each plot consisted of two rows of 1.0 m along, with line spacing of 0.5 m and seeding 15 seeds per meter. We evaluated the traits of note of plant architecture, grain yield and commercial aspect of carioca grain beans. For comparison of experiments the gain obtained with the selection, the average values of the characters of the progenies were fixed by environmental effect, estimated from the parents of each population (witnesses). The genetic progress estimated plant architecture was 1.79%, indicating that, on average, progenies of  $C_1$  cycle are more upright relative to the  $C_0$  cycle. There was a reduction of 0, 97% in grain yield and there

was 4.62% gains for grain appearance. However, it is noted that the percentage increase in mean plant architecture notes of the 38 best progenies of C<sub>1</sub> cycle (3.40%) showed a value of magnitude larger than the estimated genetic progress for this trait (1.79%) considering all progenies. There was a reduction in average grades of 2.40% grain appearance. In relation to grain yield, there was virtually no change in the means of selected progenies of each cycle (0.58%). For the evaluation of progenies, we concluded that the phenotypic selection by the hypocotyl diameter is effective in improving bean architecture without affecting the grain yield.

Keywords: genetic gain; architecture erect; potential of progenies; *Phaseolus vulgaris*.

### **3. Introdução**

Atualmente, o feijão de grãos tipo carioca é o mais cultivado no Brasil, respondendo por 52% da área cultivada com a cultura (MAPA, 2015) e por 79% dos tipos de feijão consumidos (CARNEIRO et al., 2012). Entretanto, as cultivares de feijão carioca ainda deixam a desejar quanto aos caracteres arquitetura de plantas, produtividade e aspecto comercial dos grãos, simultaneamente. Devido a mudanças no nível de tecnologia empregado na cultura do feijoeiro, principalmente em áreas irrigadas, essa cultura passou a ser tratada sob a perspectiva empresarial por parte dos grandes produtores. Assim, uma arquitetura de plantas que facilite os tratos culturais e, principalmente a colheita mecanizada, passou a ser uma das principais características de importância no melhoramento do feijão carioca (COLLICCHIO et al., 1997; SILVA et al., 2009a).

Plantas de arquitetura mais ereta, além de permitir a colheita mecanizada com menores perdas e facilitar os tratos culturais, reduzem a incidência de doenças, como o mofo-branco, e possibilitam a obtenção de grãos de melhor qualidade, uma vez que reduz o contato das vagens com o solo úmido quando a colheita coincide com longos períodos chuvosos (RAMALHO et al., 1998; TEIXEIRA et al., 1999; PIRES et al., 2014).

A avaliação da arquitetura de plantas do feijoeiro tem sido realizada por meio de escala de notas em diversos programas de melhoramento (COLLICCHIO et al., 1997; RAMALHO et al., 1998; TEIXEIRA et al., 1999; MENEZES JÚNIOR et al., 2008; MENDES et al., 2009; SILVA et al., 2009a; MENEZES JÚNIOR et al., 2013; PIRES et al., 2014). No entanto, a escala de notas baseia-se numa avaliação visual e demanda experiência para uma avaliação mais precisa e acurada. Além disso, é mais utilizada na

avaliação de progênies, apresentando limitações de uso em nível de plantas individuais (MOURA et al., 2013; SILVA et al., 2013).

Em razão das limitações apresentadas pela avaliação da arquitetura de plantas do feijoeiro por notas, alternativas têm sido buscadas. Moura et al. (2013) relatam que o diâmetro do hipocótilo é o principal caráter determinante da arquitetura de plantas do feijoeiro com potencial de ser utilizado na seleção indireta, pois apresenta elevada correlação de efeito direto com nota de arquitetura de plantas. Rocha (2012) informa que a associação observada entre diâmetro do hipocótilo e nota de arquitetura de plantas ocorre em virtude de genes com efeitos pleiotrópicos. Poersch (2013) observou associação entre a média dos valores de diâmetro de hipocótilo de grupos de no mínimo quatro plantas  $F_2$  de feijoeiro e a nota de arquitetura média de suas respectivas progênies; e Silva et al. (2013) verificaram maior estimativa de herdabilidade no sentido amplo (0,81) para diâmetro do hipocótilo em relação a nota de arquitetura de plantas (0,60). Esses trabalhos corroboram que o caráter diâmetro do hipocótilo apresenta potencial na seleção fenotípica indireta para o melhoramento da arquitetura de plantas do feijoeiro.

A seleção recorrente vem sendo utilizada com sucesso no melhoramento do feijoeiro, principalmente quando o objetivo do programa envolve múltiplos caracteres de interesse e, em especial, se alguns desses são quantitativos (AMARO et al., 2007; SILVA et al., 2007; MENEZES JÚNIOR et al., 2008; MENEZES JÚNIOR et al., 2013; PIRES et al., 2014).

A principal diferença desse método aplicado em plantas autógamas, em relação à alógamas, é que a recombinação é feita por etapas e utilizando, em geral, o esquema de intercruzamento proposto por Bearzoti (1997). Neste esquema, a partir de uma população base estruturada em 20 populações oriundas de cruzamentos biparentais, por

exemplo, são selecionadas e recombinadas, de forma direcionada, as melhores progênies ou plantas individuais de cada população, de modo a obter 20 populações do primeiro ciclo de seleção recorrente. Assim, as populações obtidas com o primeiro ciclo de seleção são oriundas de cruzamentos duplos, ou seja, envolvendo quatro genitores; no segundo ciclo, os cruzamentos envolvem oito genitores e, assim, ao longo dos ciclos de seleção aumenta-se o número de genitores envolvidos na genealogia das populações, de modo que ocorra aumento da frequência de alelos favoráveis para o caráter selecionado a cada ciclo de seleção, sem que a variabilidade seja esgotada.

Em um programa de seleção recorrente, a seleção das famílias superiores, visando à recombinação, exige que essas sejam avaliadas em experimentos com repetição e em diferentes safras quando os caracteres são muito influenciados pelo efeito de ambiente. Entretanto, para caracteres de elevada herdabilidade essa seleção pode ser realizada utilizando plantas individuais, sendo denominada de seleção recorrente fenotípica. Resultados satisfatórios com essa última estratégia foram obtidos na cultura do feijoeiro, para florescimento precoce (SILVA et al., 2007) e resistência à mancha-angular (*Pseudocercospora griseola*) (AMARO et al., 2007).

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de progênies endogâmicas, oriundas de um ciclo de seleção recorrente fenotípica para arquitetura do feijoeiro, quanto à extração de linhagens superiores para arquitetura de plantas, produtividade de grãos e aspecto de grãos, simultaneamente; e estimar, com base nessas progênies, o ganho nesses caracteres pela seleção indireta com base no diâmetro do hipocótilo.

#### 4. Material e métodos

Em 2011, iniciou-se na Universidade Federal de Viçosa (UFV) um programa de melhoramento de feijão tipo carioca com base em seleção recorrente fenotípica, pela seleção indireta por meio do diâmetro do hipocótilo, visando melhoria da arquitetura de plantas. Esse programa teve início a partir de 48 híbridos  $F_1$ 's, obtidos por Silva (2011), com base em cruzamentos em esquema de dialelo parcial entre 14 linhagens de feijoeiro. Essas linhagens foram divididas em dois grupos contrastantes quanto à arquitetura de plantas, produtividade de grãos e tipo de grãos (Tabela 1). Os 48 híbridos  $F_1$ 's juntamente com as 14 linhagens (genitores) foram avaliados na safra da seca de 2008. Com base nos efeitos de capacidade geral de combinação (CGC) e de capacidade específica de combinação (CEC) para os caracteres nota de arquitetura de plantas, diâmetro de hipocótilo e produtividade de grãos, 20 populações mais promissoras, dentre as 48 populações  $F_1$ 's, foram selecionadas (Poersch, 2013). Essas 20 populações constituíram as populações do ciclo zero ( $C_0$ ) (população base) do programa de seleção recorrente fenotípica (Tabela 2).

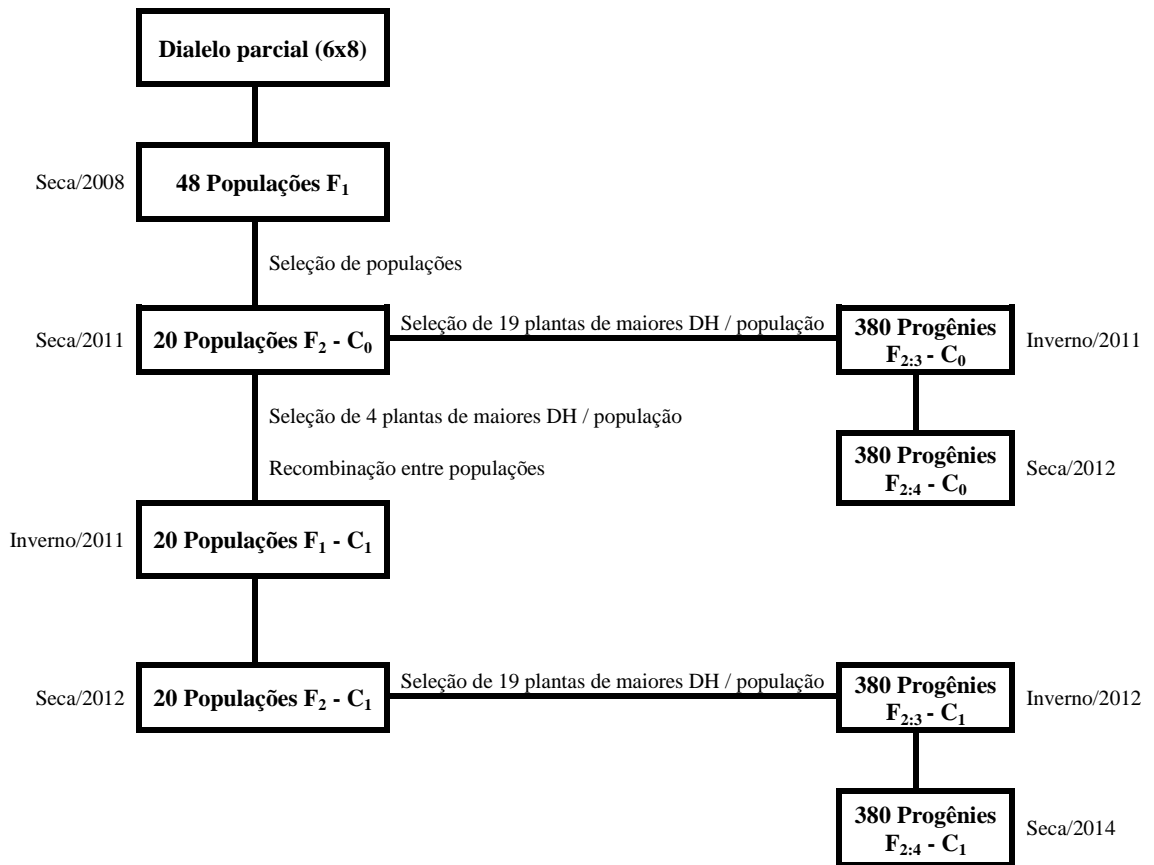
Sementes  $F_2$  das 20 populações do ciclo  $C_0$  foram semeadas em campo na safra da seca de 2011, utilizando cinco linhas de quatro metros de comprimento para cada população. As plantas  $F_2$  foram colhidas na maturação fisiológica. O diâmetro do hipocótilo foi medido um centímetro abaixo do nó cotiledonar, utilizando um paquímetro digital. Foram obtidas medidas de diâmetro do hipocótilo em aproximadamente 200 plantas de cada população do ciclo  $C_0$ . As 19 plantas de maior diâmetro de hipocótilo de cada população foram selecionadas para a avaliação de suas progênies, totalizando em 380 progênies do ciclo  $C_0$ .

A recombinação das populações do ciclo  $C_0$  foi realizada a partir das quatro plantas de maiores diâmetros do hipocótilo, selecionadas em cada população (geração

F<sub>2</sub>). Assim, a partir de sementes F<sub>3</sub> das plantas selecionadas, a unidade de recombinação de cada população do ciclo C<sub>0</sub> foi constituída por quatro plantas. As 20 populações do ciclo C<sub>0</sub> foram recombinadas em esquema de dialelo circulante, conforme metodologia proposta por Bearzoti (1997), obtendo-se 20 populações do ciclo um (C<sub>1</sub>) do programa de seleção recorrente fenotípica (Tabela 3). Os cruzamentos para as recombinações foram realizados em casa de vegetação.

Sementes F<sub>1</sub> das 20 populações do ciclo C<sub>1</sub> foram semeadas em campo na safra do inverno de 2011 a fim de obter a geração F<sub>2</sub> dessas populações. Na safra da seca de 2012, as 20 populações do ciclo C<sub>1</sub> (geração F<sub>2</sub>) foram semeadas utilizando cinco linhas de quatro metros de comprimento para cada população. Posteriormente, as plantas F<sub>2</sub> das populações do ciclo C<sub>1</sub> foram colhidas na maturação fisiológica e obtidas as medidas de diâmetro do hipocótilo em aproximadamente 200 plantas de cada população. As 19 plantas de maior diâmetro de hipocótilo de cada população foram selecionadas para a avaliação de suas progênies, totalizando em 380 progênies do ciclo C<sub>1</sub>. Na Figura 2 há um esquema do programa de seleção recorrente fenotípica, com base na seleção indireta pelo diâmetro do hipocótilo.

Na avaliação das progênies de cada ciclo, as 13 linhagens presentes na genealogia das 20 populações que formaram a população base, foram utilizadas como tratamentos comuns (13 testemunhas). Assim, cada experimento foi composto por 393 tratamentos (380 progênies e 13 testemunhas). Utilizou-se delineamento em blocos casualizados, com três repetições. As parcelas foram constituídas de duas linhas de 1,0 m de comprimento, com espaçamento entre linhas de 0,5 m e semeadura de 15 sementes por metro. As progênies do ciclo C<sub>0</sub> e do ciclo C<sub>1</sub> foram avaliadas quanto à arquitetura de plantas, produtividade de grãos e aspecto comercial de grãos por duas gerações. As gerações F<sub>2:3</sub> e F<sub>2:4</sub> das 380 progênies do ciclo C<sub>0</sub> foram avaliadas nas safras do inverno



**Figura 2.** Esquema do programa de seleção recorrente fenotípica, visando o melhoramento da arquitetura do feijoeiro, com base na seleção indireta pelo diâmetro de hipocótilo (DH).

de 2011 e seca de 2012, respectivamente. A avaliação das gerações  $F_{2.3}$  e  $F_{2.4}$  das 380 progênies do ciclo  $C_1$  ocorreu nas safras do inverno de 2012 e seca de 2014, respectivamente. Os experimentos foram conduzidos no Campo Experimental de Coimbra, pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, localizado no município de Coimbra, MG, a uma latitude de  $20^{\circ}49'S$ , longitude de  $42^{\circ}45'W$  e altitude de 720 metros.

Para a avaliação da arquitetura de plantas (ARQ) foi utilizada uma escala de notas de 1 a 5, adaptada de Collicchio (1995). A nota 1 refere-se à planta do tipo III, com internódios longos e muito prostrada; nota 2, à planta do tipo III, medianamente prostrada; nota 3, à planta do tipo III, semi-ereta, com muitas ramificações e tendendo a

prostrada; nota 4, à planta do tipo II, ereta e com algumas ramificações; e nota 5, à planta do tipo II, ereta, com uma haste e com inserção alta das primeiras vagens.

Para determinação da produtividade média de grãos (PG) das progênes, as parcelas foram colhidas, trilhadas e, após a retirada das impurezas, foi obtida a produção de grãos de cada parcela para estimar a produtividade de grãos em quilogramas por hectare ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

Na avaliação do aspecto de grãos (AG) utilizou-se uma escala de notas de 1 a 5 adaptada de Ramalho et al. (1998), de modo que a nota 1 refere-se a grãos fora do padrão carioca; e a nota 5 refere-se ao típico grão carioca, com cor creme, estrias marrom-claras, fundo claro, sem halo e grãos não achatados. As notas 2, 3 e 4 referem-se a grãos tipo carioca com deficiência em, respectivamente, três, duas e uma das características mencionadas no padrão (nota 5).

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa GENES (CRUZ, 2013). Adotou-se a acurácia seletiva como medida de qualidade dos experimentos, sendo estimada com base na fórmula:  $\hat{r}_{gg} = (1 - 1/F)^{1/2}$  (RESENDE, 2002).

Como as progênes dos ciclos  $C_0$  e  $C_1$  foram avaliadas em quatro safras diferentes, para estimar o progresso genético obtido em um ciclo de seleção recorrente as médias das características de cada progênie foram corrigidas pelo efeito de ambiente. A correção para o efeito de ambiente em cada progênie, em cada safra, foi estimada a partir da diferença entre a média de seus genitores na respectiva safra e a média deles nas quatro safras.

Na identificação das progênes de cada ciclo com maior potencial para a extração de linhagens superiores, considerando as características arquitetura de plantas,

produtividade e aspecto de grãos, simultaneamente, empregou-se o índice de seleção baseado no somatório das variáveis padronizadas, índice Z (MENDES et al., 2009),

Os progressos genéticos obtidos para arquitetura de plantas, produtividade de grãos e aspecto de grãos, com um ciclo de seleção recorrente, foram estimados a partir das médias corrigidas das progênes dos ciclos  $C_0$  e  $C_1$  de acordo com a expressão:

$$P(\%) = [(\hat{\mu}_{C_1} - \hat{\mu}_{C_0}) / \hat{\mu}_{C_0}] \times 100$$

Em que:

$P(\%)$ : progresso genético em porcentagem;

$\hat{\mu}_{C_1}$ : média corrigida das progênes do ciclo  $C_1$ ;

$\hat{\mu}_{C_0}$ : média corrigida das progênes do ciclo  $C_0$ .

## **5. Resultados e discussão**

### **5.1. Progênies do ciclo zero ( $C_0$ )**

Nos experimentos de avaliação das progênies  $F_{2:3}$  (inverno de 2011) e  $F_{2:4}$  (seca de 2012) observou-se acurácia com valores entre 0,70 a 0,98 (Tabela 7). Segundo Resende e Duarte (2007), estes valores de acurácia estão nas classes de precisão experimental de alta a muito alta. Conforme os mesmos autores, a acurácia é uma medida de avaliação da qualidade experimental, e valores de pelo menos 0,70 são satisfatórios nas etapas iniciais dos processos de seleção em melhoramento de plantas.

Na safra do inverno de 2011, a avaliação da arquitetura de plantas apresentou coeficiente de variação experimental (CVe) de 11,77%, associado a uma acurácia de 0,70, enquanto a produtividade de grãos, com CVe de 13,71%, apresentou acurácia de 0,85. Na safra da seca de 2012, a acurácia observada para produtividade de grãos foi de 0,84, valor próximo ao observado para essa característica na safra anterior, porém associado a um CVe de 22,48%. O CVe é uma medida sensível a alterações na média e na variância residual do experimento, de modo que a redução na média e, ou, aumento da variância residual podem causar aumento no valor de CVe (Oliveira et al., 2009). A característica produtividade de grãos, por exemplo, apresentou menor média associada a um maior quadrado médio do resíduo na safra da seca de 2012 em relação à safra do inverno de 2011, o que justifica as diferenças observadas nos CVe na avaliação da produtividade de grãos nas diferentes safras. Estes resultados apontam que a acurácia pode ser um melhor indicador da qualidade experimental em relação ao CVe quando o objetivo é avaliar e selecionar genótipos.

**Tabela 7.** Resumo das análises de variância individuais referentes às progêneses F<sub>2:3</sub> e F<sub>2:4</sub> de 20 populações C<sub>0</sub>, avaliadas, respectivamente, nas safras do inverno de 2011 e da seca de 2012 quanto a nota de arquitetura de plantas (ARQ), produtividade de grãos em kg ha<sup>-1</sup> (PG) e nota de aspecto de grãos (AG)

FV	GL	Quadrados médios					
		Inverno/2011 (F <sub>2:3</sub> )			Seca/2012 (F <sub>2:4</sub> )		
		ARQ	PG	AG	ARQ	PG	AG
Blocos	2	3,6860	11052145,87	0,5655	2,2279	6692366,69	2,6828
Tratamentos	392	0,2730**	1389209,83**	3,1013**	0,1800**	2242993,66**	2,8675**
Progêneses (Prog.)	379	0,2731**	1365693,26**	3,0530**	0,1648**	2183157,60**	2,7944**
Cruzamento 455	18	0,1696 <sup>ns</sup>	863010,27**	0,1394 <sup>ns</sup>	0,1282*	1268920,01**	0,1618 <sup>ns</sup>
Cruzamento 463	18	0,2861**	1484642,87**	1,3226**	0,1564**	968993,93 <sup>ns</sup>	1,0263**
Cruzamento 464	18	0,1701 <sup>ns</sup>	452336,75 <sup>ns</sup>	0,1618 <sup>ns</sup>	0,0590 <sup>ns</sup>	570514,03 <sup>ns</sup>	0,1657 <sup>ns</sup>
Cruzamento 471	18	0,1525 <sup>ns</sup>	668183,49*	0,1564 <sup>ns</sup>	0,1194 <sup>ns</sup>	2273635,05**	0,3450**
Cruzamento 473	18	0,2914**	745803,45**	0,3509**	0,1062 <sup>ns</sup>	2526634,79**	0,7183**
Cruzamento 474	18	0,3075**	1309846,11**	0,3450**	0,0794 <sup>ns</sup>	2015439,88**	0,5955**
Cruzamento 476	18	0,1979 <sup>ns</sup>	418869,20 <sup>ns</sup>	0,2222**	0,1038 <sup>ns</sup>	936147,28 <sup>ns</sup>	0,2412*
Cruzamento 477	18	0,1998 <sup>ns</sup>	537852,67 <sup>ns</sup>	0,2739**	0,1038 <sup>ns</sup>	838329,62 <sup>ns</sup>	0,3709**
Cruzamento 479	18	0,1618 <sup>ns</sup>	1994850,33**	0,7183**	0,0634 <sup>ns</sup>	2426777,27**	0,6096**
Cruzamento 484	18	0,1316 <sup>ns</sup>	636805,38*	0,2427**	0,1389*	1199620,34*	0,3007**
Cruzamento 485	18	0,4108**	1025134,31**	0,2895**	0,1321*	1012867,70 <sup>ns</sup>	0,6506**
Cruzamento 487	18	0,1116 <sup>ns</sup>	904890,92**	0,3099**	0,0775 <sup>ns</sup>	861584,81 <sup>ns</sup>	0,6296**
Cruzamento 488	18	0,2636*	779426,85**	0,3733**	0,1857**	1128389,81*	0,4776**
Cruzamento 489	18	0,1628 <sup>ns</sup>	852406,72**	0,3543**	0,1433*	2717190,16**	0,5112**
Cruzamento 491	18	0,2154 <sup>ns</sup>	606530,38*	0,6053**	0,1511**	1218766,53*	0,8226**
Cruzamento 493	18	0,3324**	589600,91 <sup>ns</sup>	0,5331**	0,2339**	2622333,86**	0,6598**
Cruzamento 494	18	0,1789 <sup>ns</sup>	1210049,42**	0,3455**	0,0926 <sup>ns</sup>	2325137,88**	0,1481 <sup>ns</sup>
Cruzamento 496	18	0,3275**	759264,93**	0,8460**	0,1516**	1271323,13**	0,5838**
Cruzamento 498	18	0,1842 <sup>ns</sup>	1192957,68**	1,0356**	0,0463 <sup>ns</sup>	1896577,50**	0,6340**
Cruzamento 499	18	0,3728**	948683,94**	0,8134**	0,4376**	2242895,53**	0,8748**
Entre cruzamentos	19	1,0629**	10207216,16**	51,9570**	0,7198**	12927331,92**	45,7679**
Testemunhas (Test.)	12	0,2831*	2197388,16**	4,5769**	0,6731**	4226261,19**	4,8280**
Prog. vs Test.	1	0,0992 <sup>ns</sup>	603849,27 <sup>ns</sup>	3,7101**	4,0x10 <sup>-6</sup> <sup>ns</sup>	1121650,35 <sup>ns</sup>	7,0327**
Resíduo	784	0,1388	372048,73	0,1131	0,0759	648714,92	0,1428
Média das Progêneses		3,17	4443,51	2,42	3,51	3587,90	2,32
Limite inferior		2,00	1350,00	1,00	2,00	267,00	1,00
Limite superior		4,50	8067,00	4,50	5,00	6467,00	4,50
Média das Test.		3,12	4570,05	2,73	3,51	3415,44	2,76
Limite inferior		2,50	2500,00	1,00	2,00	700,00	1,00
Limite superior		4,50	6233,00	4,50	5,00	5350,00	4,50
Herdabilidade (%)		49,19	72,76	96,29	53,92	70,29	94,89
CVe (%)		11,77	13,71	13,84	7,84	22,48	16,16
Acurácia ( $f_{gg}$ )		0,70	0,85	0,98	0,73	0,84	0,97

\*\* significativo a 1%; \* significativo a 5%; e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste F.

Os valores próximos de acurácias observados nas safras do inverno e da seca indicam que estas safras são igualmente eficientes em discriminar genótipos quanto a

estes caracteres na cultura do feijoeiro. Entretanto, observa-se ligeira superioridade da safra da seca na discriminação das progênes quanto à arquitetura de plantas comparada à safra do inverno. Maior valor de acurácia (média das duas safras) foi observado para o caráter aspecto de grãos (0,975), seguido de produtividade de grãos (0,845) e arquitetura de plantas (0,715). Estes resultados indicam maiores chances de sucesso com a seleção para os caracteres aspecto de grãos e produtividade de grãos do que para arquitetura de plantas. Como a acurácia é dependente da variabilidade genética e da precisão com que a característica é avaliada, verifica-se que a característica arquitetura de plantas apresenta menor variabilidade e, ou, maior efeito ambiental em seu controle do que os caracteres produtividade e aspecto de grãos. Oliveira (2012) e Poersch (2013) relatam elevada influência ambiental no controle da característica arquitetura de plantas do feijoeiro.

Houve efeito significativo de tratamentos ( $P < 0,01$ ) para as características arquitetura de plantas, produtividade de grãos e aspecto comercial de grãos nas safras do inverno de 2011 e da seca de 2012 (Tabela 7). O efeito de tratamento foi decomposto em efeito de progênes, testemunhas e contraste progênes *vs.* testemunhas. Observou-se efeito significativo de progênes e de testemunhas sobre as três características nas duas safras. O contraste entre médias de progênes e de testemunhas apresentou efeito significativo somente sobre aspecto de grãos, em ambas as safras. Embora a média de aspecto de grãos das progênes tenha sido menor que a das testemunhas, observou-se que os limites superiores são coincidentes (nota igual a 4,5), indicando a ocorrência de progênes de elevado aspecto comercial de grãos comparado às melhores testemunhas.

A partir da decomposição do efeito de progênes em efeitos de cruzamentos e entre cruzamentos, observou-se efeito significativo para 8, 16 e 17 dos 20 cruzamentos avaliados, respectivamente, para os caracteres arquitetura de plantas, produtividade e

aspecto de grãos na safra do inverno de 2011 (Tabela 7). Efeito significativo de cruzamento indica variabilidade dentro do cruzamento (população), ou seja, entre as progênies dentro do cruzamento. Na safra da seca de 2012 foram observados 10, 14 e 17 dos 20 cruzamentos apresentando variabilidade significativa, respectivamente, para os caracteres arquitetura de plantas, produtividade e aspecto de grãos. O maior número de cruzamentos com efeitos não significativos para arquitetura de plantas, comparado aos caracteres produtividade e aspecto de grãos, pode ser devido à seleção massal praticada para arquitetura de plantas com base no diâmetro do hipocótilo na obtenção das 19 progênies de cada cruzamento. Cabe ressaltar que no controle genético do diâmetro do hipocótilo predomina efeitos aditivos (SILVA et al., 2013) e este caráter apresenta elevada correlação de efeito direto com nota de arquitetura de plantas no feijoeiro (MOURA et al., 2013). No entanto, entre os cruzamentos houve variabilidade significativa ( $P < 0,01$ ) para as três características nas duas safras, indicando elevada variabilidade entre os genitores utilizados na formação das populações utilizadas para dar início ao programa de seleção recorrente.

## **5.2. Progênies do ciclo um ( $C_1$ )**

Na avaliação das progênies do ciclo  $C_1$  (Tabela 8), os valores de acurácia variaram de 0,79 a 0,98 e pertencem às classes de precisão experimental de alta a muito alta, conforme Resende e Duarte (2007). Para a característica arquitetura de plantas, as acurácias no ciclo  $C_1$  são mais elevadas em relação ao ciclo  $C_0$ . Maior variabilidade entre as progênies do ciclo  $C_1$ , devido à recombinação, explica este aumento nos valores de acurácia, uma vez que a estimativa de acurácia é função direta da variação genotípica entre os tratamentos (RESENDE e DUARTE, 2007). Também neste ciclo, tanto na safra

**Tabela 8.** Resumo das análises de variância individuais referentes às progêneses F<sub>2:3</sub> e F<sub>2:4</sub> de 20 populações C<sub>1</sub>, avaliadas, respectivamente, nas safras do inverno de 2012 e da seca de 2014 quanto a nota de arquitetura de plantas (ARQ), produtividade de grãos em kg ha<sup>-1</sup> (PG) e nota de aspecto de grãos (AG)

FV	GL	Quadrados médios					
		Inverno/2012 (F <sub>2:3</sub> )			Seca/2014 (F <sub>2:4</sub> )		
		ARQ	PG	AG	ARQ	PG	AG
Blocos	2	0,1323	6295512,27	0,2243	2,3144	3197234,15	1,7203
Tratamentos	392	0,3327**	1064522,59**	2,5879**	0,2984**	778485,33**	2,3649**
Progêneses (Prog.)	379	0,3179**	1031623,88**	2,4828**	0,2869**	758532,50**	2,3206**
Cruzamento 501	18	0,1525 <sup>ns</sup>	1171100,35**	2,4405**	0,1046 <sup>ns</sup>	471511,29*	2,2412**
Cruzamento 502	18	0,0746 <sup>ns</sup>	703513,87**	2,5122**	0,1259 <sup>ns</sup>	416835,53 <sup>ns</sup>	1,4898**
Cruzamento 503	18	0,2622**	672318,01**	1,6011**	0,4252**	469612,88*	0,7578**
Cruzamento 504	18	0,2407**	713112,59**	0,5375**	0,2492**	316106,31 <sup>ns</sup>	0,7091**
Cruzamento 505	18	0,4357**	941395,88**	0,3333**	0,2428**	371565,30 <sup>ns</sup>	0,4620**
Cruzamento 506	18	0,1038 <sup>ns</sup>	573649,45*	0,1813**	0,1406*	802354,57**	0,0682 <sup>ns</sup>
Cruzamento 507	18	0,1326 <sup>ns</sup>	929276,81**	0,1944**	0,0740 <sup>ns</sup>	506894,20*	0,2022**
Cruzamento 508	18	0,2597**	593493,29*	0,3801**	0,2168**	683554,52**	0,1038 <sup>ns</sup>
Cruzamento 509	18	0,1389 <sup>ns</sup>	881710,44**	1,0400**	0,1614*	430164,38 <sup>ns</sup>	2,0307**
Cruzamento 510	18	0,2276**	1090067,13**	1,5682**	0,2763**	557129,22*	1,8733**
Cruzamento 511	18	0,2982**	750766,01**	1,0322**	0,1314 <sup>ns</sup>	935763,28**	1,6886**
Cruzamento 512	18	0,1598 <sup>ns</sup>	1402445,72**	1,4079**	0,1893**	477382,80*	1,5219**
Cruzamento 513	18	0,2339**	615964,77*	0,7768**	0,1632*	271290,17 <sup>ns</sup>	0,8523**
Cruzamento 514	18	0,3041**	314169,01 <sup>ns</sup>	1,0034**	0,2551**	475010,00*	2,6101**
Cruzamento 515	18	0,4074**	596856,68*	1,4664**	0,2036**	733932,45**	3,1053**
Cruzamento 516	18	0,3270**	751261,68**	0,7276**	0,1034 <sup>ns</sup>	415074,67 <sup>ns</sup>	2,5546**
Cruzamento 517	18	0,1223 <sup>ns</sup>	1142455,14**	0,6116**	0,0757 <sup>ns</sup>	757201,31**	1,9079**
Cruzamento 518	18	0,2719**	582933,08*	0,6340**	0,1263 <sup>ns</sup>	514717,13*	1,7578**
Cruzamento 519	18	0,4742**	752506,44**	2,2461**	0,1926**	1435410,00**	2,6701**
Cruzamento 520	18	0,3109**	547936,74*	0,9172**	0,1082 <sup>ns</sup>	859022,35**	0,6949**
Entre cruzamentos	19	1,6632**	5678981,84**	29,0510**	2,3450**	3856538,69**	18,5305**
Testemunhas (Test.)	12	0,8248**	2189710,23**	5,4776**	0,6570**	1396916,26**	3,9466**
Prog. vs Test.	1	0,0487 <sup>ns</sup>	30882,48 <sup>ns</sup>	7,7550**	0,3763*	919439,41 <sup>ns</sup>	0,1705 <sup>ns</sup>
Resíduo	784	0,1081	329822,00	0,0898	0,0856	289836,53	0,0906
Média das Progêneses		3,65	4447,21	2,43	3,21	3882,70	2,56
Limite inferior		1,50	633,00	1,00	2,00	1383,00	1,00
Limite superior		5,00	6950,00	4,50	4,50	5858,00	4,50
Média das Test.		3,62	4418,59	2,88	3,11	4038,85	2,63
Limite inferior		2,50	2733,00	1,00	2,00	1992,00	1,00
Limite superior		5,00	5983,00	4,50	4,50	5517,00	4,50
Herdabilidade (%)		49,19	68,03	96,29	53,92	61,79	94,89
CVe (%)		9,01	12,92	12,26	9,12	13,85	11,74
Acurácia ( $f_{gg}$ )		0,81	0,82	0,98	0,84	0,79	0,98

\*\* significativo a 1%; \* significativo a 5%; e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste F.

do inverno quanto na seca, observou-se maior acurácia para o caráter aspecto de grãos (0,98) comparada a arquitetura de plantas e produtividade de grãos. Os elevados valores

de acurácia para o caráter aspecto de grãos, nas safras do inverno e da seca tanto para o ciclo  $C_0$  quanto para o ciclo  $C_1$ , classificadas por Resende e Duarte (2007) como muito altas, indicam eficiência da seleção massal para o melhoramento dessa característica na cultura do feijoeiro. A eficiência da seleção massal para aspecto de grãos pode ser verificada no trabalho de Silva (2009b), que comparou o método de condução de populações segregantes *bulk* e o método *bulk* com seleção massal para aspecto de grãos (*bulksel*). No trabalho, a autora verificou que as progênes derivadas do método *bulksel* apresentaram maior número de progênes com melhor aspecto de grãos em relação ao método *bulk*.

Houve efeito significativo ( $P < 0,01$ ) de tratamentos, progênes e testemunhas sobre as características arquitetura de plantas, produtividade e aspecto de grãos nas safras do inverno de 2012 e seca de 2014 (Tabela 8). Já para o contraste progênes vs. testemunhas houve efeito significativo apenas para aspecto de grãos na safra do inverno de 2012 ( $P < 0,01$ ) e para arquitetura de plantas na seca de 2014 ( $P < 0,05$ ).

Houve maior número de cruzamentos com efeito significativo no ciclo  $C_1$  comparado ao ciclo  $C_0$  (Tabelas 7 e 8). Considerando a soma dos cruzamentos com efeito significativo nas duas safras, para arquitetura de plantas foram 25 cruzamentos com efeitos significativos no ciclo  $C_1$  contra 18 no ciclo  $C_0$ . Para produtividade de grãos foram 33 contra 30; e para aspecto de grãos foram 38 contra 34 nos ciclos  $C_1$  e  $C_0$ , respectivamente. Maior variabilidade é esperada dentro dos cruzamentos no ciclo  $C_1$  comparado ao ciclo  $C_0$ , uma vez que um maior número de genitores está envolvido na genealogia de cada população do ciclo  $C_1$ . Estes resultados sinalizam para ganhos para as três características no ciclo  $C_1$  comparado ao ciclo  $C_0$ .

### 5.3. Ganho com a seleção recorrente fenotípica

As médias corrigidas das progênes dos ciclos  $C_0$  e  $C_1$  são apresentadas na Tabela 9. As médias corrigidas foram de 3,36 ( $C_0$ ) e 3,42 ( $C_1$ ), para nota de arquitetura de plantas; de 4110,81 kg ha<sup>-1</sup> ( $C_0$ ) e 4070,87 kg ha<sup>-1</sup> ( $C_1$ ), para produtividade de grãos; e de 2,38 ( $C_0$ ) e 2,49 ( $C_1$ ), para nota de aspecto de grãos.

O progresso genético estimado para arquitetura de plantas foi de 1,79% (Tabela 9). A maior média de nota de arquitetura de plantas observada no  $C_1$  indica que, em média, as progênes do  $C_1$  (Figura 3) são mais eretas em relação às do ciclo  $C_0$ . Como na obtenção do primeiro ciclo de seleção recorrente a seleção foi fenotípica, exclusivamente pelo diâmetro do hipocótilo, conclui-se que esta estratégia de seleção foi a principal causa do ganho obtido em notas de arquitetura de plantas. Pires et al. (2014) obteve ganho para arquitetura do feijoeiro na ordem de 1,62% por ciclo de seleção recorrente massal, baseado na avaliação visual das plantas. Assim, os resultados obtidos neste trabalho indicam maior eficiência da seleção massal baseada no diâmetro do hipocótilo comparada à seleção massal por avaliação visual. Estes resultados também confirmam os relatos de Moura et al. (2013), Silva et al. (2013) e de Poersch (2013) sobre o potencial do diâmetro do hipocótilo como indicador efetivo da arquitetura de plantas do feijoeiro. Segundo esses autores, ocorre elevada associação de causa e efeito entre diâmetro do hipocótilo e notas de arquitetura do feijoeiro, além de maior valor de herdabilidade observado para diâmetro do hipocótilo em relação à nota de arquitetura de plantas.

**Tabela 9.** Médias corrigidas de notas de arquitetura de plantas (ARQ), produtividade de grãos em kg ha<sup>-1</sup>(PG) e notas de aspecto de grãos (AG). Média das progênies por geração (F<sub>2:3</sub> e F<sub>2:4</sub>), por ciclo de seleção (C<sub>0</sub> e C<sub>1</sub>), e progresso genético (%) obtido para as três características

	<b>Características</b>		
	<b>ARQ</b>	<b>PG</b>	<b>AG</b>
Progênies F <sub>2:3</sub> C <sub>0</sub>	3,38	4025,11	2,42
Progênies F <sub>2:4</sub> C <sub>0</sub>	3,33	4196,51	2,34
Progênies F <sub>2:3</sub> C <sub>1</sub>	3,39	4191,87	2,28
Progênies F <sub>2:4</sub> C <sub>1</sub>	3,44	3949,88	2,70
Progênies C <sub>0</sub>	3,36	4110,81	2,38
Progênies C <sub>1</sub>	3,42	4070,87	2,49
<b>Progresso genético (%)</b>	1,79	-0,97	4,62



**Figura 3.** Plantas e parcela de feijoeiro do ciclo C<sub>1</sub> do programa de seleção recorrente fenotípica. Coimbra, MG. 2014.

Considerando a produtividade de grãos, houve redução de -0,97% nessa característica. Como o programa de seleção recorrente baseou-se exclusivamente na seleção massal para diâmetro de hipocótilo, não era esperado ganho para produtividade de grãos. Além disso, Silva et al. (2009a) relata existência de correlação negativa e de pequena magnitude entre os caracteres arquitetura de plantas e produtividade de grãos do feijoeiro. Segundo Rocha (2012), derivar progênies de populações em gerações mais avançadas permite que a correlação negativa entre arquitetura de plantas e produtividade de grãos seja quebrada. Como as progênies do programa de seleção recorrente foram obtidas em geração precoce ( $F_2$ ), possivelmente esta seja a causa da pequena redução observada na produtividade de grãos.

Para aspecto de grãos, o progresso genético estimado foi de 4,62%, indicando que, em média, as progênies do ciclo  $C_1$  apresentaram melhor aspecto de grãos em relação às progênies do ciclo  $C_0$ . De modo geral, não era esperado ganho para aspecto de grãos, uma vez que esta característica não foi utilizada como critério de seleção na obtenção do primeiro ciclo de seleção recorrente. No entanto, considerou-se o aspecto de grãos na escolha dos genitores e das 20 populações que constituíram o ciclo  $C_0$ . Assim, com a recombinação, houve maior probabilidade de alelos favoráveis e complementares, de diferentes genitores, ocorrerem juntos nas progênies do ciclo  $C_1$ . Considerando este fato, há maiores chances de obtenção de progênies com melhores notas de aspecto de grãos no ciclo  $C_1$ . Menezes Júnior et al. (2013) obtiveram ganho da ordem de 7% para aspecto de grãos em um programa de seleção recorrente de feijão vermelho, no entanto os autores consideraram a característica na obtenção dos ciclos de seleção recorrente.

As estimativas de progresso genético indicam as diferenças entre o comportamento médio das progênies do ciclo  $C_1$  em relação ao ciclo  $C_0$  quanto às três

características. Com base nos progressos genéticos estimados, percebe-se melhoria na arquitetura de plantas do feijoeiro e no aspecto de grãos, associados a uma pequena redução na produtividade de grãos. No entanto, entre as progênes de cada ciclo é possível selecionar as que apresentam desempenhos satisfatórios para as três características simultaneamente.

Utilizando-se o índice de seleção baseado em somatório de variáveis padronizadas (MENDES et al., 2009) e aplicando intensidade de seleção de 10%, identificou-se as progênes mais promissoras para extração de linhagens em cada ciclo (Tabelas 10 e 11). Observou-se que entre as médias das progênes selecionadas de cada ciclo ( $C_0$  e  $C_1$ ), as progênes do ciclo  $C_1$  apresentaram nota média de arquitetura de plantas 3,40% superiores; produtividade média de grãos 0,58% superior; e nota média de aspecto de grãos 2,40% inferior (-2,40%) (Tabela 12). O percentual de aumento da média de notas de arquitetura de plantas, das 38 melhores progênes do ciclo  $C_1$  em relação ao ciclo  $C_0$  (3,40%), apresentou maior valor que o progresso genético estimado para esta característica considerando as 380 progênes (1,79%). Entretanto, houve redução nas notas médias de aspecto de grãos de -2,40%. Em relação à produtividade de grãos, praticamente não houve alteração nas médias das progênes selecionadas de cada ciclo (0,58% de aumento). Assim, entre as progênes do ciclo  $C_1$  podem ser selecionadas progênes de arquitetura mais ereta e com produtividade tão boa quanto as melhores progênes do ciclo  $C_0$ . Desse modo, percebe-se que a seleção fenotípica por meio do diâmetro do hipocótilo foi eficaz no melhoramento da arquitetura do feijoeiro sem prejudicar a produtividade de grãos.

**Tabela 10.** Trinta e oito melhores progênies do ciclo C<sub>0</sub> (10% das progênies C<sub>0</sub>) selecionadas pelo índice Z considerando as características arquitetura de plantas (ARQ), produtividade de grãos (PG) e aspecto de grãos (AG). Médias de nota de arquitetura, de produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) e de nota de aspecto de grãos

Progênies C <sub>0</sub>	Características		
	ARQ	PG	AG
463 F2 I-70	3,76	4889,67	3,50
477 F2 I-23	3,72	4736,08	3,44
463 F2 I-51	4,26	4873,00	1,33
471 F2 I-156	3,51	5032,87	3,38
477 F2 I-76	3,55	4763,92	3,52
474 F2 I-1	3,62	4780,37	3,33
477 F2 I-115	3,88	4313,75	2,85
484 F2 I-142	3,58	4758,08	3,25
477 F2 I-169	3,63	4472,25	3,44
477 F2 I-67	3,47	4941,58	3,27
476 F2 I-119	3,64	4415,54	3,50
476 F2 I-56	3,47	4701,54	3,67
471 F2 I-20	3,42	5007,71	3,38
487 F2 I-157	3,44	4399,29	3,92
488 F2 I-11	3,68	4170,87	3,31
479 F2 I-30	3,37	4818,71	3,44
488 F2 I-158	3,68	4385,87	3,06
474 F2 I-36	3,37	4796,87	3,67
476 F2 I-36	3,56	4504,37	3,17
485 F2 I-21	3,61	3977,50	3,60
488 F2 I-74	3,51	4758,21	2,97
479 F2 I-43	3,29	5096,54	3,35
477 F2 I-17	3,47	4419,42	3,44
485 F2 I-76	3,45	4171,83	3,85
474 F2 I-29	3,37	4727,54	3,50
471 F2 I-47	3,34	4785,37	3,38
493 F2 I-94	3,85	4641,92	1,92
479 F2 I-9	3,04	4838,04	4,27
488 F2 I-102	3,51	4447,04	3,22
471 F2 I-10	3,42	4513,21	3,29
477 F2 I-44	3,63	4086,08	3,10
473 F2 I-95	3,33	4965,33	3,12
474 F2 I-26	3,45	3973,21	3,92
487 F2 I-108	3,44	4335,46	3,42
485 F2 I-47	3,28	4452,33	3,77
474 F2 I-17	3,28	4705,21	3,58
485 F2 I-30	3,61	4058,17	3,19
474 F2 I-23	3,53	4266,37	3,33
<b>Médias</b>	3,53	4578,45	3,33

**Tabela 11.** Trinta e oito melhores progênies do ciclo C<sub>1</sub> (10% das progênies C<sub>1</sub>) selecionadas pelo índice Z considerando as características arquitetura de plantas (ARQ), produtividade de grãos (PG) e aspecto de grãos (AG). Médias de nota de arquitetura de plantas, de produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) e de nota de aspecto de grãos

Progênies C <sub>1</sub>	Características		
	ARQ	PG	AG
504 F2 I-22	3,60	4836,87	4,30
504 F2 I-74	4,14	4371,54	3,30
508 F2 I-94	4,10	4523,69	3,00
504 F2 I-111	3,57	4567,54	4,38
503 F2 I-88	4,10	4578,50	2,83
508 F2 I-114	3,76	4986,19	3,08
508 F2 I-37	4,15	4070,85	3,33
509 F2 I-1	3,71	5202,56	2,64
504 F2 I-173	3,77	4352,04	3,71
508 F2 I-24	3,51	4947,35	3,50
504 F2 I-3	3,85	4487,04	3,21
504 F2 I-11	3,84	4550,71	3,05
508 F2 I-55	3,35	5019,35	3,58
503 F2 I-130	3,43	4866,00	3,58
508 F2 I-41	3,71	4374,85	3,42
508 F2 I-14	3,98	4062,52	3,08
508 F2 I-19	3,65	4608,35	3,17
503 F2 I-76	3,26	5141,00	3,33
509 F2 I-52	3,63	4876,06	2,72
508 F2 I-154	3,68	4421,02	3,25
504 F2 I-32	3,47	4639,71	3,46
506 F2 I-73	3,68	4428,07	3,16
503 F2 I-61	3,88	4106,33	3,08
503 F2 I-152	3,46	4859,00	3,08
504 F2 I-125	3,39	4535,54	3,80
508 F2 I-117	3,60	4466,69	3,33
514 F2 I-55	4,13	3901,48	2,66
503 F2 I-116	3,51	4691,17	3,17
501 F2 I-179	3,29	4942,44	3,41
505 F2 I-124	3,59	4467,54	3,22
509 F2 I-85	3,58	4844,23	2,64
513 F2 I-132	3,84	4127,94	3,00
502 F2 I-18	3,45	4609,98	3,33
508 F2 I-133	3,43	4598,69	3,33
504 F2 I-25	3,30	4961,71	3,13
506 F2 I-93	3,18	4923,73	3,49
511 F2 I-187	3,51	4801,37	2,74
513 F2 I-162	3,75	4235,77	2,92
<b>Médias</b>	3,65	4604,88	3,25

**Tabela 12.** Médias das 38 progênies selecionadas de cada ciclo (C<sub>0</sub> e C<sub>1</sub>). Médias de nota de arquitetura de plantas (ARQ), de produtividade de grãos em kg ha<sup>-1</sup> (PG) e de nota de aspecto de grãos (AG). Diferença do C<sub>1</sub> em relação ao C<sub>0</sub> em porcentagem

	<b>Características</b>		
	<b>ARQ</b>	<b>PG</b>	<b>AG</b>
Progênies C <sub>0</sub>	3,53	4578,45	3,33
Progênies C <sub>1</sub>	3,65	4604,88	3,25
<b>Diferença (%)</b>	3,40	0,58	-2,40

## **6. Conclusões**

- O progresso genético estimado para arquitetura ereta do feijoeiro foi de 1,79% em um ciclo de seleção recorrente fenotípica pelo diâmetro do hipocótilo.
- A seleção indireta por meio do diâmetro do hipocótilo não reduziu o potencial de obtenção de linhagens mais produtivas a partir das progênes do ciclo C<sub>1</sub>.

## 7. Referências bibliográficas

AMARO, G. B.; ABREU, A. F. B. ; RAMALHO, M. A. P.; SILVA, F. B. Phenotypic recurrent selection in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) with carioca-type grains for resistance to the fungi *Phaeoisariopsis griseola*. **Genetics and Molecular Biology**, v.30, p.584-588, 2007.

BEARZOTI, E. **Simulação de Seleção Recorrente Assistida por Marcadores Moleculares em Espécies Autógamas**. 1997. 230 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

CARNEIRO, J. E. S.; ABREU, A. F. B.; RAMALHO, M. A. P.; PAULA JR., T. J.; PELOSO, M. J. D.; MELO, L. C.; PEREIRA, H. S.; PEREIRA FILHO, I. A.; MARTINS, M.; VIEIRA, R. F.; MARTINS, F. A. D.; COELHO, M. A. O.; CARNEIRO, P. C. S.; MOREIRA, J. A. A.; SANTOS, J. B.; FARIA, L. C.; COSTA, J. G. C.; TEIXEIRA, H. BRSMG Madrepérola: common bean cultivar with late-darkening Carioca grain. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. Londrina, v.12, n.4, p.281-284, 2012.

COLLICCHIO, E. **Associação entre o porte da planta do feijoeiro e o tamanho dos grãos**. 1995. 98 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

COLLICCHIO, E.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Associação entre porte de planta do feijoeiro e o tamanho dos grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.32, n.3, p.297-304, 1997.

CRUZ, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**. v.35, n.3, p.271-276, 2013.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br>. Acesso em: 13 de julho de 2015.

MENDES, F. F.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Índice de seleção para escolha de populações segregantes de feijoeiro-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.44, n.10, p.1312-1318, out. 2009.

MENEZES JÚNIOR, J. A. N.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Seleção recorrente para três caracteres do feijoeiro. **Bragantia**. Campinas, v.67, n.4, p.833-838, 2008.

MENEZES JÚNIOR, J. A. N.; REZENDE JÚNIOR, L. S.; ROCHA, G. S.; SILVA, V. M. P.; PEREIRA, A. C.; CARNEIRO, P. C. S.; PETERNELLI, L. A.; CARNEIRO, J. E. S. Two cycles of recurrent selection in red bean breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. v.13, n.1, p.41-48, 2013.

MOURA, M. M.; CARNEIRO, P. C. S.; CARNEIRO, J. E. S.; CRUZ, C. D. Potencial de caracteres na avaliação da arquitetura de plantas de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.48, n.4, p.417-425, 2013.

OLIVEIRA, R. L.; MUNIZ, J. A.; ANDRADE, M. J. B.; REIS, R. L. Precisão experimental em ensaios com a cultura do feijão. **Ciência e agrotecnologia**. Lavras, v.33, n.1, p.113-119, 2009.

OLIVEIRA, A. M. **Estratégias de seleção visando melhoramento da arquitetura do feijoeiro**. 2012. 56 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PIRES, L. P. M.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; FERREIRA, M. C. Recurrent mass selection for upright plant architecture in common bean. **Scientia Agricola**. v.71, n.3, p.240-243, 2014.

POERSCH, N. L. **Diâmetro do hipocótilo como caráter auxiliar no melhoramento da arquitetura do feijoeiro**. 2013. 40 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

RAMALHO, M. A. P.; PIROLA, L. H.; ABREU, A. F. B. Alternativas na seleção de plantas de feijoeiro com porte ereto e grão tipo carioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.33, n.12, p.1989-1994, 1998.

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

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

ROCHA, G. S. **Causas de correlação entre caracteres e efeito de ambientes na predição do potencial de populações segregantes no melhoramento do feijoeiro**. 2012. 68p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SILVA, F. B.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Seleção recorrente fenotípica para florescimento precoce de feijoeiro ‘Carioca’. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.42, n.10, p.1437-1442, 2007.

SILVA, C. A.; ABREU, A. F. B.; RAMALHO, M. A. P. Associação entre arquitetura de planta e produtividade de grãos em progênies de feijoeiro de porte ereto e prostrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.44, n.12, p.1647-1652, 2009a.

SILVA, L. C. **Estratégias de condução de populações segregantes no melhoramento genético do feijoeiro**. 2009b. 65p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SILVA, V. M. P. **Melhoramento genético do porte do feijoeiro**. 2011. 73 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SILVA, V. M. P.; MENEZES JÚNIOR, J. A. N.; CARNEIRO, P. C. S.; CARNEIRO, J. E. S.; CRUZ, C. D. Genetic improvement of plant architecture in the common bean. **Genetics and Molecular Research**. v.12, n.3, p.3093-3102, 2013.

TEIXEIRA, F. F.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Genetic control of plant architecture in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Genetics and Molecular Biology**. v.22, n.4, p.577-582, 1999.