

**PROGRESSO E VARIABILIDADE GENÉTICA
COM A SELEÇÃO RECORRENTE PARA
PRODUTIVIDADE DE GRÃOS NO FEIJOEIRO**

GRACIELE SIMONETI DA SILVA

2009

GRACIELE SIMONETI DA SILVA

**PROGRESSO E VARIABILIDADE GENÉTICA COM A SELEÇÃO
RECORRENTE PARA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS NO FEIJOEIRO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de "Doutor".

Orientador

Prof. Dr. Magno Antonio Patto Ramalho

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2009

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Silva, Graciele Simoneti da.

Progresso e variabilidade genética com a seleção recorrente para
produtividade de grãos no feijoeiro / Graciele Simoneti da Silva. –
Lavras : UFLA, 2009.

58 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.

Orientador: Magno Antonio Patto Ramalho.

Bibliografia.

1. Melhoramento de plantas. 2. Melhoramento do feijoeiro. 3.
Genética quantitativa. 4. *Phaseolus vulgaris* L. I. Universidade
Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 635.6523

GRACIELE SIMONETI DA SILVA

**PROGRESSO E VARIABILIDADE GENÉTICA COM A SELEÇÃO
RECORRENTE PARA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS NO FEIJOEIRO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de "Doutor".

APROVADA em 02 de Outubro de 2009

Dr. Antônio Carlos de Oliveira	EMBRAPA
Dra. Ângela de Fátima Barbosa Abreu	EMBRAPA
Dr. César Augusto Brasil Pereira Pinto	UFLA
Dr. Wagner Pereira Reis	UFLA

Prof. Dr. Magno Antonio Patto Ramalho – UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

A Deus,

Ofereço todo o meu trabalho e todos os frutos da minha vida.

OFEREÇO

Aos meus pais, José Domingos da Silva e Terezinha Iraci da Silva, pelo amor incondicional e ao meu irmão Rafael Simoneti da Silva, pelo carinho e amizade,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Aos meus pais, por todo o amor, compreensão, apoio e por sempre se fazerem presentes na minha vida.

A minha avó, Maria Rigo Simoneti, por todo o cuidado e carinho.

Ao CNPq, pelo financiamento para a realização deste trabalho.

Aos membros da banca pela disponibilidade e sugestões para o enriquecimento deste trabalho.

Ao Professor Magno Antonio Patto Ramalho, pela orientação, paciência, disponibilidade, conselhos e exemplo de profissional; a quem eu tenho imensa admiração e gratidão.

Aos professores do Programa de Pós Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, em especial ao João Bosco, César Brasil, João Cândido, Lizete, Elaine, Flávia Avelar e José Airton pela contribuição para minha formação.

À pesquisadora Dra. Ângela de Fátima Barbosa Abreu, pela disponibilidade em sempre me ajudar, pelo carinho e amizade.

Aos amigos especiais que se fazem presentes na minha vida nos momentos difíceis e nas alegrias, os quais eu tenho profundo carinho: Karine, Bianca, Giani, Nelita, Wisner, Lurdinha, Silvana, Isabela, Marcela, Flavia Mendes, Gustavo Biudes e Flavinha.

Aos colegas do GEN, Fernando, Lucas, Aninha, Camila, Alex, Andre, Ester, Joyce, Igor, Baiano, Rafael, Breno, Isabel, Lidiane, Flavia, Cristiane, Fernanda, Paulo, Livia, Patricia, Karla, Zé Maria, Ulisses, Fernando Leão, Ranoel, Ticoná, Mateus.

Aos funcionários do DBI, Zélia, Rafaela e Irondina, pela amizade, prazerosa convivência e disposição oferecidas.

Aos funcionários de campo, Leonardo e Lindolfo, pela ajuda e disposição na condução dos experimentos.

A todos que fazem parte da minha vida e que já fizeram algum dia que de alguma forma contribuíram para que eu concluísse mais esse sonho.

MUITO OBRIGADA!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT	ii
CAPÍTULO 1.....	1
1 Introdução Geral	2
2 Referencial Teórico.....	4
2.1 Melhoramento genético do feijoeiro no Brasil	4
2.2 Controle genético de alguns caracteres do feijoeiro	7
2.2.1 Qualidade de grãos.....	7
2.2.2 Produtividade de grãos.....	11
2.3 Seleção Recorrente	12
2.4 Estimativa do progresso genético com a seleção recorrente.....	15
3 Referências Bibliográficas	18
CAPÍTULO 2: Estimativa do progresso genético, após oito ciclos de seleção recorrente, para produtividade de grãos do feijoeiro	23
1 Resumo	24
2 Abstract.....	25
3 Introdução	26
4 Material e Métodos	28
5 Resultados e Discussão	31
6 Conclusões	37
7 Referências Bibliográficas.....	38
CAPÍTULO 3: Variabilidade genética após nove ciclos de seleção recorrente para produtividade de grãos no feijoeiro	41
1 Resumo	42
2 Abstract.....	43

3	Introdução	44
4	Material e Métodos	46
5	Resultados e Discussão	51
6	Conclusões	56
7	Referências Bibliográficas	57

RESUMO

SILVA, Graciele Simoneti da. **Progresso e variabilidade genética com a seleção recorrente para produtividade de grãos no feijoeiro**. 2009. 58 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

A seleção recorrente (SR) é qualquer processo cíclico de melhoramento que envolva obtenção de progênies, avaliação e recombinação dos melhores. O que se espera com a SR é aumentar a média do caráter sob seleção, mantendo a variabilidade genética para progressos futuros com a seleção. Este trabalho foi realizado com o objetivo de estimar o progresso genético com a seleção para a produtividade do feijoeiro com grãos tipo carioca, após oito ciclos seletivos e, ao mesmo tempo, verificar se ainda há variabilidade genética suficiente para continuar tendo progresso futuros com a seleção. O programa de SR da Universidade Federal de Lavras teve início em 1990. A população base foi obtida de dez genitores diferindo em vários caracteres. Em cada ciclo eram avaliadas progênies $S_{0,1}$ e $S_{0,2}$ e recombinadas plantas das progênies da geração $S_{0,3}$. O processo de seleção tinha continuidade até a obtenção de linhagens, que eram, então, avaliadas mais intensivamente, juntamente com linhagens de outros programas no experimento de avaliação de linhagens elites. Utilizando-se os dados obtidos no município de Lavras, das avaliações de linhagens oriundas da seleção recorrente, procedeu-se à análise de variância conjunta por safra envolvendo as linhagens oriundas no mesmo ciclo seletivo. Como os experimentos possuíam três testemunhas comuns, procederam-se às análises de variância combinada de todas as linhagens. As médias ajustadas obtidas foram utilizadas para estimar o progresso genético. Para isso, utilizou-se a média das linhagens de cada ciclo. O coeficiente de regressão linear estimado entre a variável dependente (y) média das linhagens e o número de ciclos, variável independente (x) foi de 68,58 kg/ha, ou seja, 3,3% por ciclo. Para verificar se ainda existe variabilidade na população a partir dos resultados da avaliação das progênies $S_{0,2}$ dos ciclos VIII e IX, foram obtidas estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos. Constatou-se que a estimativa da herdabilidade para a seleção na média das progênies foi semelhante nos dois ciclos e de magnitude a se antever progresso genético contínuo em ciclos futuros.

Comitê Orientador: Magno Antonio Patto Ramalho - UFLA (Orientador) e Ângela de Fátima Barbosa Abreu - Embrapa Arroz e Feijão/UFLA.

ABSTRACT

SILVA, Graciele Simoneti da. **Progress and genetic variability through recurrent selection for grain yield of common bean.** 2009. 58 p. Thesis (Doctoral in Plant Genetics and Breeding) – Federal University of Lavras, Lavras, MG.*

Recurrent selection (RS) is a breeding cyclic process which involves the obtainment of progenies, the evaluation and recombination of the best ones. RS is expected to enhance the selected trait average without losing the genetic variability for future progresses which will be eventually achieved by selection. The objective of this work was to estimate the genetic progress through selection for carioca bean grain yield after eight cycles as well as to verify if there is still enough genetic variability to continue attaining future progress through selection. The RS program was launched in 1990 at Universidade Federal de Lavras. The base population was obtained from ten genitors having many different traits. For each cycle, $S_{0:1}$ and $S_{0:2}$ progenies were evaluated, then $S_{0:3}$ progenies were recombined. This selection process was carried out until the lines could be attained; those were then more thoroughly evaluated along with lines originated from other programs involving experiments for the evaluation of elite lines. The data originated from the evaluation results made for lines obtained through recurrent selection were collected in the county of Lavras. Such data were used to conduct the group analysis of variance per harvest comprehending lines of the same selective cycle. As the experiments had three common controls, a combined analysis of variance of all lines was done. Adjusted averages of lines from each cycle were used to estimate the genetic progress. The linear regression coefficient estimated between the lines average (y) and the number of cycles (x) was 68.58 kg/ha, in other words, 3.3% per cycle. In order to check for any possible population variability, phenotypic and genetic parameters estimates for cycles VIII and IX were obtained from $S_{0:2}$ progenies. It was verified that heritability estimate for selection on progenies average was similar in both cycles, thus foreseeing any continuous genetic progress for future cycles.

Guidance Committee: Magno Antonio Patto Ramalho – UFLA (Major Professor) and Ângela de Fátima Barbosa Abreu – Embrapa Arroz e Feijão /UFLA.

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

Nos últimos trinta anos, os incrementos em produtividade de grãos e das plantas cultivadas, entre elas o feijoeiro, no Brasil, foram expressivos (Vencovsky & Ramalho, 2006). Vários fatores contribuíram para esse sucesso e, entre eles, o melhoramento genético merece destaque. Contudo, o processo é dinâmico, pois a demanda de incrementos em produtividade e as exigências da sociedade, em termos de redução do impacto ambiental, são crescentes.

No caso do feijoeiro, ainda há o argumento da diversidade de sistemas de cultivo, por se tratar de uma atividade agrícola comum a grandes empresários rurais e a agricultores de subsistência. Os programas de melhoramento dessa leguminosa devem se preocupar em atender à demanda de agricultores e consumidores, bem como com a boa estabilidade de produção. Nesse contexto, os melhoristas devem manusear um grande número de caracteres além da produtividade. Entre eles, se destacam as propriedades culinárias, aspectos dos grãos, arquitetura da planta e resistência a estresses bióticos, especialmente patógenos.

No controle genético desses caracteres, certamente estão envolvidos vários genes, pois a maioria apresenta segregação típica de um caráter quantitativo (Singh, 1999; Basset, 2004). Para se associar os alelos favoráveis desses inúmeros genes é necessária a realização de ciclos repetitivos de seleção, isto é, a seleção recorrente (Ramalho et al., 2003). Nesse intuito, teve início, na Universidade Federal de Lavras (UFLA), em 1990, um programa de seleção recorrente com ênfase na obtenção de linhagens mais produtivas com grãos tipo carioca, isto é, cor creme com rajas marrons, peso de 100 grãos de 22 a 25 g e com boas propriedades culinárias.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de estimar o progresso genético com a seleção recorrente, obtido após oito ciclos seletivos e estimar

parâmetros genéticos e fenotípicos utilizando-se informações das progênies $S_{0,2}$, $S_{0,3}$ e $S_{0,4}$ para verificar se ainda há chance de continuar tendo progresso com a seleção recorrente.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Melhoramento genético do feijoeiro no Brasil

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma cultura de importância econômica e social, devido às suas características como alimento e ao envolvimento de um grande número de pessoas na sua produção. É cultivado tanto na agricultura familiar como por grandes empresas rurais. O consumo é relativamente alto pela população, em média 16 kg/hab/ano (CONAB, 2009). De acordo com a região, as preferências variam em relação ao tipo de grão. O Brasil se destaca na produção de feijão e o seu cultivo é realizado em quase todo o seu território.

O objetivo da maioria dos programas de melhoramento genético do feijoeiro no Brasil é obter cultivares mais produtivas, com estabilidade de produção, com características de grão que atendam às preferências do consumidor. Para que se tenha estabilidade de produção é importante que as cultivares apresentem resistência aos vários patógenos que podem ocorrer e tolerância aos principais estresses abióticos, principalmente de deficiência hídrica e/ou nutricional.

A despeito da importância da cultura do feijão no país, o número de programas de melhoramento que realmente obtêm novas cultivares é pequeno. Esses programas estão predominantemente no setor público. Embora existam relatos de melhoramento do feijoeiro antes de 1950, a maior ênfase na obtenção de novas linhagens ocorreu a partir dos anos 70 do século passado (Viera et al., 2005).

Um das contribuições mais expressivas no melhoramento ocorreu quando da obtenção da cultivar Carioca, que possui grãos de cor creme com rajas marrons. A história da obtenção da cultivar Carioca deve ser destacada. Segundo consta, esse tipo de feijão foi encontrado por um agricultor, na cidade

de Palmital, no estado de São Paulo. Posteriormente, foi enviado ao Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e, após algumas avaliações, foi recomendado como cultivar em 1969 (Almeida et al., 1971). No início, sua aceitação foi lenta, contudo, após 1975, disseminou-se por todo o país (Ramalho et al., 2004). O nome Carioca surgiu em função de uma raça de suíno daquela região de São Paulo, denominada carioca, cuja pelagem dos animais se assemelham ao do feijão carioca no que se refere à presença das rajadas.

Existem algumas publicações que relatam com detalhes a história do melhoramento genético do feijão no Brasil (Viera et al., 2005; Carneiro et al., 2002) e não será comentado aqui. Ênfase maior será dada à história do melhoramento genético do feijoeiro na UFLA. Comentando a esse respeito, Mattos et al. (2007) assim se expressou: “ Os trabalhos foram iniciados em 1968, com a avaliação de linhagens introduzidas de outras regiões. O professor Arnaldo Junqueira Neto dedicou-se ao manejo e também à avaliação de linhagens. Um dos primeiros trabalhos realizados pelo então estudante de graduação Magno Antonio Patto Ramalho foi a monografia Ensaio de competição de variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) no período das “secas, na qual foram avaliadas nove linhagens, dentre elas, a ‘Carioca’, que participou pela primeira vez de um experimento no Sul de Minas Gerais. Posteriormente após formar-se, o mesmo foi contratado como professor e desde então conduz experimentos com a leguminosa.

O crescimento do programa de melhoramento do feijão na UFLA ocorreu, segundo o relato do professor Magno A. P. Ramalho, em função da contratação do professor João Bosco dos Santos, em 1976 e da incorporação da pesquisadora Ângela de Fátima Barbosa Abreu, em 1984, além da criação, em 1986, do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Genética e Melhoramento de Plantas.

No início, os trabalhos se concentraram na seleção de linhas puras derivadas de cultivares utilizadas pelos agricultores. Uma dessas seleções foi em uma população de feijão-pardo, que possibilitou a recomendação da cultivar ESAL1, que permaneceu em cultivo por vários anos em Minas Gerais e especialmente no estado do Espírito Santo. Também foram efetuadas seleções de linhas puras no feijão ‘Pintado’ (Ramalho et al., 1979) e no feijão ‘Roxo’ (Ramalho et al., 1982).

A principal dificuldade verificada, inicialmente, foi a realização das hibridações artificiais que, muito embora sejam simples e de fácil aprendizado, requerem alguns anos para o completo domínio.

O programa de melhoramento, por pertencer a uma universidade, teve maior ênfase na condução de estudos básicos, visando à melhoria na eficiência do processo seletivo entre elas aquelas relacionadas à precisão experimental. Nesse contexto, vários trabalhos foram publicados, como o de Marques Júnior et al. (1997), Aguiar et al.(2000) e Krause (2005).

Alternativa de escolha dos genitores recebeu atenção durante praticamente os trinta últimos anos de programa de melhoramento da UFLA (Oliveira, 1995; Abreu, 1997; Machado, 1999; Mendonça, 2001), bem como a preocupação com a seleção precoce (Collicchio, 1995; Rosal et al., 2000; Carneiro et al., 2002; Santos et al., 2002) e com a melhoria da eficiência do processo seletivo (Silva et al., 1994; Borges et al., 2000; Ferreira et al., 2000; Raposo et al., 2000).

A resistência a patógenos sempre foi um dos principais objetivos do programa de melhoramento da UFLA, tendo sido avaliados os danos provocados por alguns desses patógenos (Santos et al., 1987; Rocha et al., 1998; Carrijo et al., 2003).

Em 1994, sob a coordenação do professor João Bosco dos Santos, foram iniciadas, na UFLA, pesquisas sobre seleção assistida por marcadores

moleculares, visando à obtenção de linhagens resistentes a patógenos. Nesse aspecto, os marcadores moleculares, nos últimos anos, receberam enorme atenção (Duarte et al., 1999; Castanheira et al., 2004; Oliveira et al., 2004).

A partir de 1990, iniciaram-se os trabalhos com a seleção recorrente. Desde então, alguns programas de seleção recorrente têm sido conduzidos, visando não só à produtividade de grãos, como arquitetura da planta e resistência a *Phaeoisariopsis griseola*. Detalhes sobre a seleção recorrente na UFLA serão apresentados posteriormente.”

2.2 Controle genético de alguns caracteres do feijoeiro

Com já mencionado, nos objetivos do melhoramento genético do feijoeiro estão envolvidos vários caracteres. Alguns desses caracteres estão associados à qualidade de grãos, outros à produtividade e outros à estabilidade de produção. Nessa revisão, a ênfase será direcionada às informações disponíveis a respeito do controle genético de caracteres associados à qualidade do grão e também à produtividade.

2.2.1 Qualidade de grãos

No que diz respeito à qualidade, há uma série de caracteres, tais como cor e escurecimento precoce dos grãos, tamanho e forma dos grãos e tempo de cozimento, entre outros.

No feijoeiro, há uma ampla diversidade nos tipos de grãos, especialmente no que se refere às cores (Voysest & Dessert, 1991). A preferência quanto aos tipos de feijões consumidos varia amplamente, de acordo com a região. Contudo, os feijões do tipo carioca, como já mencionado, são os preferidos em grande parte do Brasil.

O controle genético da cor do tegumento do feijão, como exemplo, vem sendo estudado por mais de um século, em todo o mundo. Foram publicados

inúmeros trabalhos. Revisões detalhadas das informações disponíveis foram apresentadas em algumas oportunidades (Leakey, 1998; Basset, 2004), contudo, ainda existem várias dúvidas, em função do grande número de genes envolvidos e da dificuldade de descrição das cores. Não é utilizada uma carta de cores quando da descrição da cor, dificultando a comparação de amostras de sementes de feijão. No controle genético, os genes relacionados à cor são classificados em quatro grupos: fundamentais ou básicos, complementares ou de coloração, modificadores e de coloração parcial. Um resumo da ação desses genes é apresentado por Basset (2004), entre eles:

- P – gene fundamental para a cor. Esse gene é pleiotrópico para a cor do hipocótilo e da flor. Plantas de genótipo pp possuem hipocótilo verde, flores brancas e tegumentos brancos. Esse gene tem três alelos $P > p^{gr} > p$. Quando a planta tem genótipo p^{gr} , na presença de outros genes, o tegumento é branco-acinzentado, sem anel do hilo. No caso das flores, esse alelo p^{gr} com o C J B V produz flores com as asas das pétalas pálidas e dois pontos violeta na margem superior;
- T – gene responsável pela coloração completa do tegumento e da flor; plantas com o genótipo tt possuem o tegumento parcialmente colorido; tem efeito pleiotrópico com flores brancas, cotilédones e hipocótilo verdes;
- C – esse gene interage com P para produzir tegumento amarelo-enzofre-claro, quando em homozigose e produz aparência marmórea quando em heterozigose. É considerado um loco complexo, devido ao alelismo múltiplo. Sua expressão depende de outros genes, que serão comentados posteriormente;
- J – genótipo que sempre expressa o anel em volta do hilo, sendo o tegumento de coloração escura brilhante. Quando possui genótipo

recessivo *jj*, o tegumento será fosco. Com *P*, expressa tegumento amarelo-pálido;

- *D* – é responsável pela formação de um anel pardo ao redor do hilo;
- *G* – fator amarelo-marrom;
- *B*- gene para a cor marrom-esverdeada. Interage com *P* e outros genes de coloração;
- *R* – esse gene é responsável pela coloração vermelha ou roxa do tegumento e pelas rajadas avermelhadas nas asas das pétalas das flores, dependendo de sua interação com outros genes. Pode também ser responsável pela coloração rosa no tegumento;
- *V* – gene responsável pela cor preta em presença de *P*. Esse gene tem efeito pleiotrópico na cor das flores e do hipocótilo e possui três alelos $V > v^{lae} > v$. O alelo v^{lae} confere a cor rosa da flor; com *P C J G B*, produz o tegumento marrom mineral sem halo;
- *Z* – na presença de *t*, esse gene interage com *J* produzindo cor no halo e tem importante papel na expressão da coloração parcial nos tegumentos da semente;
- *Bip* – *Bip* e *bip* combinados com *Arc* e *arc* são responsáveis por manchas coloridas nas proximidades do hilo, cujos desenhos dependem da maneira como são combinados, estendendo a coloração parcial do tegumento;
- *Arc* – com *Bip*, fornece o padrão *virgatus* ao tegumento da semente; com *bip*, fornece o padrão *virgata*; *arc* e *Bip*, o padrão *arcus*; com *bip*, o padrão *bipunctata*;
- *diff* – com *exp*, dá coloração completa ao tegumento, com exceção de uma das extremidades da semente;
- *Exp* – com *diff*, produz coloração estável no tegumento da semente com exceção na extremidade da semente;

- Ane – produz nebulosidade mosqueada no tegumento;
- Asp – gene responsável pela produção de brilho no tegumento; quando recessivo asp, o tegumento é opaco;
- Am – com No e Sal gera cor nas flores; com Beg No Sal, gera cor no estandarte da flor. A cor do estandarte da flor é expressa por Sal Am V^{wf} (ou v) e Sal am v expressa a cor vermelha do tegumento da semente (marrom mineral);
- Fib – fíbula em forma de arco, com t; arcos brancos expressam na zona da corona do tegumento;
- Gy – tegumento amarelo-esverdeado, normalmente com P (C r) gy J g b v (ou v^{lae});
- ip (i_1) – inibe a ação de P, considerando a cor do hipocótilo;
- Iv (i_2) – inibe a ação de V, considerando a cor do hipocótilo; é letal com v^{lae} ;
- iw – tegumento quando imaturo branco, na presença de p;
- No – com P v, expressa flores com brilho salmão-castanho e brotos de flores com coloração vermelha mais escura, por ação pleiotrópica; com P V, expressa flores puramente vermelhas;
- Pr – precursor da cor vermelha;
- Rk – gene responsável pela coloração vermelha ou roxa do tegumento. O alelo rk^d com P v (ou v^{lae}) e T/ - ou t/t, rk^d sempre dá rajadas vermelhas nas asas das pétalas. C rk^{cd} expressa granada marrom nos tegumentos, considerando que $c^u rk^{cd}$ expressa tegumentos rosa, rk^p expressa sempre a cor rosa;
- Sal – com P, expressa flor vermelha-salmão e listras avermelhadas no tegumento;

- Ts – depende da temperatura para a formação das rajadas; ts seguido do St produz tegumento sem rajadas. Já Ts e St expressam rajadas incompletas e Ts com st ou st com ts expressam rajadas completas;
- wb – com T P V, o estandarte da flor é branco e as asas, violeta-pálidas.

Não se têm muitos detalhes a respeito do número de genes que estariam envolvidos especificamente na cor dos grãos tipo carioca. No entanto, é possível afirmar que são muitos, provavelmente a maioria dos que estão aqui relacionados.

Com relação ao escurecimento precoce dos grãos, em estudo realizado por Silva et al. (2008) foi demonstrado que, provavelmente, um gene com alelo dominante é responsável por um escurecimento mais lento dos grãos carioca. Contudo, a presença de modificadores não deve ser desprezada.

O tamanho dos grãos é um caráter quantitativo e alguns trabalhos realizados mostram ter o caráter herdabilidade alta (Moreto et al., 2007).

2.2.2 Produtividade de grãos

Certamente não existem genes para a produtividade por área. Esse é um índice que, provavelmente, é afetado por quase todos os genes da planta. Os trabalhos a respeito de controle genético da produtividade do feijoeiro são amplos. Um levantamento das estimativas de herdabilidade obtidas para a produtividade de grãos utilizando vários procedimentos foi apresentado por Moreto et al. (2007), que apresentaram relatos de estimativa de h^2 no sentido restrito, de 13 publicações, variando de 4% a 60%. A maioria, contudo, inferior a 30%.

Pelas informações disponíveis na literatura, e que foram em parte relatadas nessa revisão, a maioria dos caracteres com que os melhoristas trabalham é controlada por muitos genes e, principalmente, a produtividade é

muito influenciada pelo ambiente. Nessa situação é impossível acumular todos os alelos favoráveis de uma só vez (Ramalho et al., 2005; Bernardo, 2002; Kearsey & Pooni, 1996). Numa situação como essa, a principal alternativa para se ter sucesso em atingir os objetivos do melhoramento genético do feijoeiro é a seleção recorrente.

2.3 Seleção Recorrente

A seleção recorrente é um processo dinâmico e contínuo que envolve a obtenção de indivíduos ou famílias, a avaliação, a seleção e o intercruzamento das melhores, visando, com isso, aumentar a frequência dos alelos favoráveis e, por consequência, melhorar a expressão do caráter sob seleção.

O que se espera com a seleção recorrente é o aumento na média do caráter sob seleção, mantendo a variabilidade genética para progressos futuros (Hallauer, 1992). Para isso, é necessário ter uma população com variabilidade genética e uma estratégia de seleção e recombinação que permita ter progresso, sem exaurir a variabilidade.

Para se justificar o emprego da seleção recorrente, há inúmeros argumentos. Todos eles têm como fundamento que a maioria dos caracteres com que os melhoristas trabalham é controlada por vários genes, como já mencionado. Esses argumentos podem ser encontrados, entre outras, nas seguintes publicações (Fouilloux & Bannerot, 1988; Ramalho et al., 2001 e Geraldi, 2005).

Basicamente, na seleção recorrente, os indivíduos ou progênies de uma população geneticamente heterogênea são selecionados e posteriormente recombinados para formar uma nova população. Esta, por sua vez, é utilizada para iniciar um novo ciclo de seleção (Ramalho et al., 2001).

Como se pode observar, a seleção recorrente envolve basicamente três etapas: a obtenção da população base, a seleção dos indivíduos e ou progênies e

a recombinação dos indivíduos e ou progênes selecionados. Detalhes sobre a obtenção da população são encontrados em algumas publicações (Cordeiro, 2001). Em síntese, o objetivo é ter uma população com média alta e maior variabilidade possível para o caráter de interesse.

Devem ser escolhidas as linhagens e ou cultivares mais adaptadas e de diferentes origens. Linhagens exóticas ou pouco adaptadas podem aumentar a variabilidade, porém, reduzem a média populacional. Caso seja necessária a inclusão de linhagens mal adaptadas, um programa de retrocruzamento deve ser conduzido à parte e só depois que seus descendentes apresentarem níveis satisfatórios de adaptação é que devem ser incluídos no intercruzamento.

O número de genitores a serem envolvidos na formação da população base é um dilema para os melhoristas. Para plantas autógamas, o número de genitores recomendado tem sido de 10 a 20 (Vieira et al., 2005). Nesse caso, obter boa variabilidade e manter na população os alelos de todos os genitores é relativamente fácil, principalmente se a recombinação for bem feita.

A obtenção da população base C_0 pode ocorrer utilizando-se macho-esterilidade. Em espécies como o feijoeiro, a utilização da macho-esterilidade é possível, porém, algumas dificuldades são encontradas, como o pólen que não se dispersa naturalmente e a difícil identificação e manutenção das plantas macho-estéreis. Devido a essas dificuldades e considerando que a recombinação é feita de forma direcionada, o que constitui uma vantagem para o feijoeiro e outras espécies autógamas, a recombinação manual é a melhor opção. Nesse sentido, existem algumas alternativas, como a realização de cruzamentos múltiplos. Outra alternativa que tem sido utilizada com sucesso é a metodologia proposta por Bearzoti, descrita por Ramalho et al. (2001). Nesse esquema, os genitores são cruzados segundo um esquema de dialelo circulante, em que cada um deles participa de dois cruzamentos. Eles são direcionados de forma que, nos sucessivos intercruzamentos, a contribuição de cada genitor seja a mesma.

Quanto à seleção, há várias opções de se proceder. Em princípio, ela pode ser massal ou utilizando algum tipo de progênie. A seleção massal, individual, é, normalmente, visual. Essa alternativa só é recomendada para caracteres com alta herdabilidade porque, para caracteres com baixa herdabilidade, como a produtividade de grãos, a seleção visual tem baixa eficiência (Silva et al., 2002)

A seleção recorrente fenotípica tem sido utilizada com relativo sucesso para alguns caracteres no feijoeiro, tais como dias para florescimento, precocidade (Silva et al., 2007), seleção para resistência à mancha-angular (Amaro et al., 2007) e fixação de nitrogênio por meio da contagem do número de nódulos (Pereira et al., 1993).

Quando o caráter tem herdabilidade baixa, a solução é avaliar progênies em experimentos com repetições. Essas avaliações podem ser efetuadas com progênies $S_{0.1}$ ou $S_{0.2}$ e também podem ser empregadas gerações mais avançadas. No caso específico do feijoeiro, como as progênies $S_{0.1}$ são provenientes de uma única planta S_0 , o número de semente é pequeno, impossibilitando que se tenham experimentos com tamanho de parcela e número de repetições que possibilitem precisão aceitável. Na literatura encontram-se, em várias espécies autógamas, exemplos de emprego de progênies $S_{0.1}$ e $S_{0.2}$ na seleção recorrente (Sing et al., 1999; Ranalli, 1996; Amaro et al., 2007; Ramalho et al., 2005; Silva et al., 2007).

Uma vez identificadas, as progênies superiores são recombinadas para iniciar um novo ciclo. Essa recombinação pode ser efetuada de vários modos. Por exemplo, se a seleção fenotípica puder ser realizada até o florescimento, as plantas com o fenótipo desejado são cruzadas entre si. Se a seleção visual só puder ser efetuada após o florescimento, como é o caso da mancha-angular, as plantas-progênies mais resistentes são recombinadas na safra seguinte. Quando se emprega progênie $S_{0.2}$, por exemplo, pode-se recombinar utilizando sementes

remanescentes, como é preconizado em arroz, ou, o que é mais comum, recombinar as plantas das progênies $S_{0.3}$, colhidas no experimento de avaliação. No processo de recombinação valem os comentários feitos a respeito da obtenção da população base.

Já com o uso de progênies, pode ser em experimentos com repetições ou, até mesmo, sem repetições. Diferentes tipos de progênies podem ser utilizadas, tais como: $S_{0.1}$, $S_{0.2}$ ou, até mesmo, mais endogâmicas.

2.4 Estimativa do progresso genético com a seleção recorrente

A estimativa periódica do progresso genético com a seleção recorrente é importante para se avaliar as estratégias de condução do programa e propor alterações, se necessário. No caso das plantas alógamas, a estimativa do progresso é fácil porque, a cada ciclo de recombinação, a população está em equilíbrio, bastando guardar as sementes dos diferentes ciclos para comparação do desempenho no futuro. Em se tratando de plantas autógamas, após a recombinação, o equilíbrio não é atingido e, além do mais, são cultivadas linhagens e não uma população de linhagens. Para se avaliar o progresso, devem-se utilizar outras estratégias.

Há várias opções. A primeira é avaliar as progênies $S_{0.1}$ e $S_{0.2}$ de cada ciclo seletivo. Para isso, uma alternativa seria guardar as sementes dessas progênies dos diferentes ciclos, para avaliação conjunta. Isto é viável, porém, se o número de ciclos e, especialmente, de progênies for grande, o trabalho é inviável. A outra opção é utilizar os dados das avaliações das progênies $S_{0.1}$ e/ou $S_{0.2}$, ao longo do tempo. Para se proceder a avaliação do progresso, deve-se realizar uma análise de variância combinada utilizando-se as testemunhas comuns nas diferentes avaliações.

Outra estratégia seria misturar as progênies $S_{0.2}$ de cada ciclo. Posteriormente, as populações assim obtidas seriam avaliadas em experimentos

com repetições. Esse procedimento é viável, mas não foi encontrado relato de sua utilização.

Como, em plantas autógamas, o produto final do melhoramento são as linhagens, uma alternativa para avaliar o progresso seria o emprego dessas linhagens obtidas a cada ciclo. Nesse caso, há duas alternativas. Uma delas seria armazenar as sementes das linhagens obtidas nos diferentes ciclos e realizar experimentos avaliando certo número de linhagens de cada ciclo. Esses experimentos devem ser realizados com muitas repetições, para se ter precisão suficiente e poder detectar pequenas diferenças entre as médias das linhagens dos diferentes ciclos. Esse procedimento foi utilizado inclusive com a cultura do feijoeiro (Ramalho et al., 2005).

A outra opção é que como essas linhagens são extensivamente avaliadas a cada ciclo, antes de serem incluídas nos experimentos de valor de cultivo e uso (VCU) ou no próprio VCU. Poder-se-ia utilizar esses dados. Para isso é necessário que estejam disponíveis testemunhas comuns para uma análise combinada dos experimentos dos diferentes ciclos.

Na Tabela 1 são apresentadas algumas estimativas do progresso com a seleção recorrente obtidas com o feijoeiro. Observa-se que a seleção recorrente foi utilizada no melhoramento de vários caracteres. O progresso de variou como já comentado. Veja também que o sucesso com a seleção recorrente foi alto na maioria das situações.

TABELA 1 Resultados de programas de seleção recorrente com feijoeiro comum, para vários caracteres.

Caráter selecionado	Unidade seletiva	Nº de ciclos	Progresso genético por ciclo	Fonte
Produtividade de grãos	“Progênie” F ₂ e F ₅	3	30%	Beaver & Kelly (1994)
Produtividade de grãos	Progênie S _{0:1}	1	7,9 a 13,2%	Singh et al. (1999)
Produtividade de grãos	Progênie S _{0:1}	2	3 a 4%	Singh et al. (1999)
Produtividade de grãos	Progênie S _{0:2}	2	55%	Ranalli (1996)
Produtividade de grãos	Progênie S _{0:2}	3	25%	Ranalli (1996)
Produtividade de grãos	Progênie S _{0:1}	3	11%	Barron et al. (1999)
Reação à mancha-angular	Indivíduos S ₀	6	6,3%	Amaro et al. (2007)
Florescimento precoce	Indivíduos S ₀	6	6,7%	Silva et al. (2007)
Fixação de N	Progênie S _{0:1}	3	13%	Barron et al. (1999)
Patógenos do solo	Progênie	6	9%	Garcia et al. (2003)
Número de nódulos	Indivíduos F ₁	3	211%	Pereira et al. (1993)

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, A. F. B. **Predição do potencial genético de populações segregantes do feijoeiro utilizando genitores inter-raciais**. 1997. 79 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

AGUIAR, A. M.; RAMALHO, M. A. P.; SOUZA, E. A. Comparação entre látice e blocos aumentados na avaliação de famílias segregantes em um programa de melhoramento do feijoeiro. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 4, p. 857-860, out./dez. 2000.

ALMEIDA, L. D. A.; LEITÃO FILHO, H. F.; MYASAKA, S. Características do feijão carioca, um novo cultivar. **Bragantia**, Campinas, v. 30, n. 1, p. 33-34, abr. 1971.

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**, Ribeirão Preto, v. 30, n. 3, p. 584-588, set. 2007.

BARRON, J.E.; PASINI, R. J.; DAVIS, D. W.; STUTHMAN, D. D.; GRAHAM, P. H. Response to selection for seed yield and nitrogen (N₂) fixation in common bean (*Phaseolus vulgaris*). **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 62, n. 2/3, p. 119-128, June 1999.

BASSET, M. J. List of genes: *Phaseolus vulgaris* L. **Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, n. 47, p. 1-24, Mar. 2004.

BEAVER, J. S.; KELLY, J. D. Comparison of selection methods for dry bean populations derived from crosses between gene pools. **Crop Science**, Madison, v. 34, n. 1, p. 34-37, Jan./Feb. 1994.

BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. Minnesota: Woodbury, 2002. 368 p.

BORGES, L. C.; FERREIRA, D. F.; ABREU, A. B. F.; RAMALHO, M. A. P. Emprego de metodologias de avaliação da estabilidade fenotípica na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*). **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 47, n. 269, p. 89-102, jan./fev. 2000.

CARNEIRO, J. E. de S.; RAMALHO M. A. P.; ABREU, A. de F. B.; GONÇALVES, F. M. A. Breeding potential of single, double, and multiple crosses in common bean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 2, n. 2, p. 515-524, abr./Jun. 2002.

CARRIJO, F. R. F.; SOUZA, E. A.; RAMALHO, M. A. P. Common bean lines reaction to the anthracnose pathogen. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 3, n. 4, p. 297-300, Dez. 2003.

CASTANHEIRA, A. L. M.; SANTOS, J. B. RAPD marker assessment of self-pollinated inbreeding methods for common bean segregant populations. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 4, n. 1, p. 1-6, mar. 2004.

COMPANHIA NACIONAL DE ABSTECIMENTO. Disponível em: <<http://www.conab.org.br>>. Acesso em: 15 ago. 2009.

CORDEIRO, A. C. C. **Número de intercruzamentos na eficiência da seleção recorrente na cultura do arroz**. 2001. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

DUARTE, J. M.; SANTOS, J. B.; MELO, L. C. Genetic divergence among common bean cultivars from different races based on RAPD markes. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 22, n. 3, p. 419-426, set. 1999.

FOUILLOUX, G.; BANNEROT, H. Selection Methods in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). In: GEPTS, P. (Ed.). **Genetic Resources of *Phaseolus beans***: their maintenance, domestication, evolution, and utilization. Dordrecht: Kluwer Academic, 1988. p. 503-541.

GARCIA, R. E.; ROBINSON, R. A.; AGUILAR, J. A. P.; SANDOVAL, S. S.; GUZMAN, R. P. Recurrent selection for quantitative resistance to soil borne diseases in beans in the Mixteca region, México. **Euphytica**, Wageningen, v. 130, n. 2, p. 241-247, July 2003.

GERALDI, I. O. Por que realizar seleção recorrente? In: SIMPÓSIO DE ATUALIZAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS, 9., 2005, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2005. p. 1-9.

HALLAUER, A. R. Recurrent selection in maize. **Plant Breeding Reviews**, New York, v. 9, n. 1, p. 115-179, June 1992.

HULL, F. H. Recurrent selection and specific combining ability in corn. **Journal of the American Society for Agronomy**, Madison, v. 37, n. 2, p. 134-145, Feb. 1945.

KRAUSE, W. **Alternativas para melhorar a eficiência dos experimentos de valor cultivado e uso (VCU) na cultura do feijoeiro**. 2005. 63 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

LEAKEY, C. L. A. Genotypic and phenotypic markers in common beans. In: EPTS, P. **Genetic resources of phaseolus beans**. Boston: Kluwer Academic, 1998. p. 245-327.

MACHADO, C. F. **Procedimento para escolha de genitores em feijão**. 1999. 118 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

MENDONÇA, H. A. **Escolha de populações segregantes de feijoeiro utilizando parâmetros genéticos, fenotípicos e marcadores RAPD**. 2001. 100 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

MARQUES JÚNIOR, O. G.; RAMALHO, M. A. P.; MENDONÇA, H. A.; SANTOS, J. B. Efeito de parcelas adjacentes na avaliação de alguns caracteres em cultivares de feijão. **Bragantia**, Campinas, v. 56, n. 1, p. 199-206, jan. 1997.

MATOS, J. W.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Trinta e dois anos do programa de melhoramento genético do feijoeiro comum em Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1749-1754, nov./dez. 2007.

MORETO, A. L.; RAMALHO, M. A. P.; NUNES, J. A. R.; ABREU, A. F. B. Estimativa dos componentes da variância fenotípica em feijoeiro utilizando o método genealógico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1035-1042, jul./ago. 2007.

OLIVEIRA, L. B. **Alternativas na escolha dos parentais em um programa de melhoramento do feijoeiro**. 1995. 67 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

- OLIVEIRA, M. V. C.; SANTOS, J. B.; MENEZES, M. Genetic diversity in Carioca and Pérola cultivars of common bean based on RAPD markers. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, MG, v. 4, n. 2, p. 178-182, jun. 2004.
- PEREIRA, P. A. A.; MIRANDA, B. D.; ATTEWELL, J. R.; KMIECIK, K. A.; BLISS, F. A. Selection for increased nodule number in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 148, n. 2, p. 203-209, Jan. 1993.
- RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; CARNEIRO, J. E. Cultivares. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 25, n. 223, p. 144, out. 2004
- RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B. Genetic progress after four cycles of recurrent selection for yield and grain traits in common bean. **Euphytica**, Wageningen, v. 144, n. 1/2, p. 23-29, July 2005.
- RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B. Genetic progress in common bean after four cycles of recurrent selection. **Annual Report of Bean Improvement Cooperative**, East Lansing, v. 46, p. 47-48, Mar. 2003.
- RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B. Melhoramento de espécies autógamas. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S. de; VALADARES-INGLIS, M. C. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 201-230.
- RAMALHO, M. A. P.; PINTO, C. A. P.; SANTA CECÍLIA, F. C. Avaliação de amostras de cultivares de feijão roxo e seleção de progênies. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 35-43, jan./jun. 1982.
- RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; SANTA CECÍLIA, F.C.; ANDRADE, M.A. Seleção de progênies no feijão "Pintado" e estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 3, n. 1, p. 51-57, jan./jun. 1979.
- RANALLI, P. Phenotypic recurrent selection in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) based on performance of S2 progenies. **Euphytica**, Wargeningen, v. 87, n. 2, p. 127-132, Jan. 1996.
- RAPOSO, F. V.; RAMALHO, M. A. P.; SOUZA, M. A. Comparação de métodos de condução de populações segregantes do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 10, p. 1991-1997, out. 2000.

- ROCHA JR, W. C. J. B.; SANTOS, J. B.; MENDES-COSTA. Reação de cultivares e linhagens de feijão à *Fusarium Oxysporum* F.Sp. *Phaseoli*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 3, p. 407-409, set. 1998.
- ROSAL, C. J. S.; RAMALHO, M. A. P.; GONCALVES, F. M. A.; ABREU, A. B. F. Seleção precoce para a produtividade de grãos de feijão. **Bragantia**, Campinas, v. 59, n. 2, p. 189-195, Set. 2000.
- SANTOS, J. B.; RAMALHO, M. A. P.; MACHADO, J. C. Reação de linhagens e cultivares de feijoeiro a *Colletotrichum Lindemuthianum* (Sacc & Magn.) Scrib. (Agente Causal da Antracnose). **Ciência e Prática**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 85-91, jan./jun. 1987.
- SANTOS, V. S.; RAMALHO, M. A. P.; CARNEIRO, J. E. S.; ABREU, A. F. B. Consequences of early selection for grain type in common bean breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 1, n. 4, p. 347-354, dez. 2002.
- 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, abr. 2007.
- SILVA, H. D.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; MARTINS, L. A. Efeito da seleção visual para produtividade de grãos em populações segregantes do feijoeiro. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 18, n. 2, p. 181-185, abr./jun. 1994.
- SINGH, S. P.; TERÁN, H.; MUNOZ, C. G.; TAKEGAMI, J. C. Two cycles of recurrent selection for seed yield in common bean. **Crop Science**, Madison, v. 39, n. 2, p. 391-397, Mar./Apr. 1999.
- SOUZA JUNIOR, C. L. **Componentes da variância genética e suas implicações no melhoramento vegetal**. Piracicaba: FEALQ, 1989. 134 p.
- VIEIRA, C.; BORÉM, A.; RAMALHO, M. A. P. Melhoramento do feijão. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa, MG: UFV, 2005. p. 273-349.
- VOYSEST, O.; DESSERT, M. Bean cultivars: classes and commercial seed types. In: SCHOONHOVEN, A. van; VOYSEST VOYSEST, O. (Ed.). **Common beans: research for crop improvement**. **Commonwealth Agricultural Bureaux International**, Wallingford: United Kingdom, 1991. p. 119-162.

CAPITULO 2

ESTIMATIVA DO PROGRESSO GENÉTICO, APÓS OITO CICLOS DE SELEÇÃO RECORRENTE, PARA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DO FEIJOEIRO

1 RESUMO

O objetivo deste trabalho foi estimar o progresso genético após oito ciclos de seleção recorrente visando à obtenção de linhagens de feijão com alta produtividade de grãos. A população base foi obtida de dez genitores diferindo em vários caracteres. Até o momento foram realizados oito ciclos seletivos. Em cada ciclo, o processo de seleção continua após a recombinação, até a obtenção de linhagens, que são então avaliadas mais intensivamente, juntamente com linhagens de outros programas no experimento de avaliação de linhagens elites. Para estimar o progresso genético foram utilizados os dados das avaliações dessas linhagens em cada ciclo ao longo desses anos. No total, foram envolvidos dados de 42 experimentos nas semeaduras realizadas nos meses de fevereiro, julho e novembro, por dois anos, nos oito ciclos seletivos. A estimativa do progresso genético de 3,3% por ciclo possibilita inferir que a seleção recorrente para a produtividade de grãos é eficiente.

2 ABSTRACT

The objective of this work was to estimate the genetic progress after eight recurrent selection cycles aiming the obtaining of lines of beans with high yield. The basis population was obtained from ten genitors differing in various characters. So far, eight selection cycles were realized. In each cycle the process of selection continues up to the recombination, until the obtaining of lines, which are then evaluated more intensively, along with lines of other programs in the evaluation experiment of elite lines. To estimate genetic progress, data of these lines in each cycle over the years were used in the evaluations. In the total, data of 42 experiments were involved in the sowings realized in the months of February, July and November, for two years, in the eight selection cycles. The estimate of the genetic progress of 3,3% per cycle makes it possible to deduce the recurrent selection for grain yield is efficient.

3 INTRODUÇÃO

A maioria dos caracteres de importância econômica, com que os melhoristas trabalham, é poligênica. Isto implica que é praticamente impossível acumular todos os alelos favoráveis em uma linhagem de uma só vez. A solução é acumular esses alelos favoráveis por etapas ou utilizar a seleção recorrente. Nesse caso, os melhores indivíduos e/ou progênies são recombinados a cada ciclo seletivo. Espera-se, com isso, aumentar a frequência de indivíduos genotipicamente superiores na população, sem reduzir a variabilidade genética (Ramalho et al., 2001; Hallauer, 1992).

O uso da seleção recorrente foi proposto para as plantas alógamas, há algumas décadas. No caso das autógamas, seu emprego é mais recente, contudo, tem sido amplamente utilizado em várias espécies, tais como trigo (Wang et al., 1996), arroz (Rangel et al., 1998), aveia (Koeber et al., 1993) e soja (Wilcox, 1998). Na cultura do feijoeiro, há vários relatos do seu emprego para melhorar vários caracteres, entre eles: arquitetura da planta (Menezes Junior et al., 2008), resistência a patógenos (Amaro et al., 2007), ciclo da cultura (Silva et al., 2007) e produtividade de grãos (Ramalho et al., 2005).

No Brasil, predomina o cultivo do feijoeiro com grãos tipo carioca, isto é, creme com rajas marrons. Esse tipo de feijão começou a ser comercializado a partir de 1969 (Almeida et al., 1971) e, como a sua aceitação foi crescente, desde então, os programas de melhoramento deram grande ênfase à obtenção de linhagens com esse tipo de grão (Ramalho & Abreu, 2006).

Na Universidade Federal de Lavras (UFLA), um programa de seleção recorrente com a cultura do feijoeiro, visando o aumento da produtividade de grãos, vem sendo conduzido desde 1990. A cada ciclo seletivo, após identificadas as melhores progênies, a seleção continua até a obtenção de linhagens. Estas têm sido avaliadas ao longo dos anos, junto com linhagens de

outros programas nas sucessivas safras, antes de serem incluídas nos experimentos de valor de cultivo e uso.

O sucesso da seleção recorrente é avaliado por meio da estimativa do progresso genético. No caso das plantas autógamas, há algumas alternativas para se obter essa estimativa (Ramalho et al., 2005). Uma delas é a avaliação das melhores linhagens obtidas após cada ciclo seletivo.

Do exposto, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de estimar o progresso genético obtido para a produtividade de grãos do tipo carioca no Programa de Seleção Recorrente do Feijoeiro da UFLA, após oito ciclos seletivos, utilizando os dados das avaliações de linhagens em cada ciclo ao longo desses anos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados dados do programa de seleção recorrente que vem sendo conduzido na UFLA desde 1990. A população base foi obtida a partir das linhagens apresentadas na Tabela 1. Essas linhagens foram cruzadas e obtidas as sementes F_1 dos seguintes híbridos: BAT 477 x IAPAR 14, FT 84-292 x BAT 477, Jalo x A-252, A-77 x Ojo de Liebre, ESAL 645 x Jalo, Pintado x BAT 477, BAT 477 x Carioca, IAPAR 14 x Pintado e ESAL 645 x A 252. Posteriormente, foram obtidos híbridos duplos. Cento e cinquenta sementes da geração F_2 dos diferentes híbridos duplos, com melhor tipo de grão, foram misturadas para se obter a população do primeiro ciclo (C-1), geração S_0 .

Foram obtidas as progênies $S_{0,1}$, as quais foram avaliadas no município de Lavras. Posteriormente, as melhores progênies $S_{0,2}$ obtidas foram novamente avaliadas em dois ou mais locais e com mais repetições. As melhores progênies $S_{0,3}$ foram recombinadas. O processo de avaliação das progênies recombinadas e de várias outras continuou até a obtenção das linhagens puras ($S_{0,8}$). Esse processo foi repetido até o oitavo ciclo.

As melhores linhagens de cada ciclo foram avaliadas no denominado ensaio de linhagens elite do programa de melhoramento da UFLA. Os experimentos, normalmente, possuem de 25 a 36 linhagens. Parte dessas linhagens é da seleção recorrente já mencionada e o restante, oriundo de outros programas de seleção. Também foram incluídas três testemunhas comuns, as cultivares Carioca, Carioca MG e Ouro Negro. As parcelas foram constituídas de duas linhas de 4,0 m, com 15 sementes por metro. Esses experimentos foram avaliados em vários locais, contudo, foram utilizadas apenas as informações obtidas em Lavras. A semeadura foi realizada nas três épocas em que normalmente se cultiva o feijão no estado, ou seja, em fevereiro, julho e novembro. O manejo e os tratamentos culturais são os preconizados para a cultura da

região. Nas safras de fevereiro e julho, os experimentos foram irrigados, visando complementar as precipitações. As linhagens de cada ciclo foram avaliadas por dois anos.

Os caracteres avaliados foram: incidência de patógenos, especialmente mancha-angular e antracnose, por meio de uma escala de notas; arquitetura da planta, também aferida por meio de uma escala de notas e produtividade de grãos, em kg/ha. Neste trabalho, o progresso foi estimado considerando apenas a produtividade de grãos.

Os dados da produtividade de grãos, em kg/ha, considerando o delineamento de blocos casualizados, envolvendo apenas as linhagens da seleção recorrente e as três testemunhas, foram submetidos à análise de variância por safra, por ciclo. Posteriormente, uma análise combinada foi efetuada envolvendo todos os ciclo utilizando-se o seguinte modelo:

$$Y_{ijkl} : \mu + c_l + s_{(k)l} + b_{j(k)l} + l_i + lc_{il} + ls_{ik(l)} + e_{(ijkl)}$$

em que:

Y_{ijkl} : observação da linhagem i , no bloco j , dentro da safra k , dentro do ciclo l ;

μ : média geral;

c_l : efeito do ciclo l ;

$s_{(k)l}$: efeito de safra k dentro de ciclo l ;

$b_{j(k)l}$: efeito do bloco j dentro de safra k , dentro do ciclo l ;

l_i = efeito de linhagem i (envolve as linhagens de cada ciclo e as testemunhas comuns);

lc_{il} : efeito da interação linhagens x ciclos (envolve apenas as testemunhas comuns);

$ls_{ik(l)}$: efeito da interação linhagens x safras dentro de ciclo (envolve as linhagens de cada ciclo e as testemunhas comuns);

$e_{(ijkl)}$: erro experimental associado a Y_{ijkl} .

Todas as análises foram realizadas no programa SAS.

Para estimação do progresso genético, foram utilizadas as médias ajustadas de todas as linhagens, exceto as testemunhas comuns, de cada ciclo. Ajustou-se a equação de regressão linear entre a variável independente, número de ciclos seletivos ($x = 1,2,\dots,8$) e a variável dependente, produtividade média das linhagens de cada ciclo (y). O ganho ou progresso genético percentual por ciclo (PG, %) foi determinado pela seguinte expressão: $PG = (b_1/b_0) * 100$, em que b_1 é a estimativa do coeficiente de regressão angular ou ganho absoluto por ciclo e b_0 é o intercepto ou produtividade média estimada no ciclo zero (C_0).

TABELA 1 Algumas características das linhagens de feijoeiro utilizadas na obtenção da população base do programa de seleção recorrente da UFLA.

Linhagens	Origem	Raças	Hábito de crescimento ^{1/}	Tipo de grão
BAT 477	CIAT	Mesoamérica	II	Beje
IAPAR 14	IAPAR	Mesoamérica	III	Creme com rajas marrons
FT 84-292	FT Sementes	Mesoamérica	II	Creme com rajas marrons
Jalo	EPAMIG	Nova Granada	III	Amarelo
A-252	CIAT	Mesoamérica	III	Creme com rajas marrons
A-77	CIAT	Mesoamérica	I	Creme com rajas marrons
Ojo de Liebre	CIAT	Durango	III	Creme com rajas marrons
ESAL 645	UFLA	Mesoamérica	II	Creme com rajas marrons
Pintado	UFLA	Nova Granada	III	Rajado
Carioca	IAC	Mesoamérica	III	Creme com rajas marrons

^{1/} Tipo I: hábito determinado; Tipo II, III e IV: hábito indeterminado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Optou-se por estimar o progresso genético envolvendo os experimentos apenas conduzidos no município de Lavras porque a maioria das avaliações das progênies até a obtenção das linhagens foi realizada nesse município. No total, foram utilizados dados de 42 experimentos, por dois anos, nos oito ciclos seletivos. Na realidade, o número de experimentos deveria ser 48, entretanto, seis não foram obtidos por não terem sido conduzidos naquelas safras e ano ou por terem sido perdidos, devido a algum problema climático.

Para se ter uma boa estimativa do progresso genético quando se utilizam linhagens obtidas no final de cada ciclo, é necessário que a eficiência de seleção até a obtenção das linhagens seja semelhante nos diferentes ciclos. Como o processo básico de condução das progênies foi muito semelhante, diferindo apenas no número de progênies avaliadas a cada geração, infere-se que a estimativa obtida é fidedigna.

A análise de variância das linhagens provenientes de cada ciclo seletivo e também das três testemunhas mostra que ocorreu diferença significativa entre linhagens ($P \leq 0,05$), exceto nas oriundas do ciclo VI, indicando que ainda existia variabilidade entre as linhagens no final do processo. Também ocorreu diferença significativa entre as safras, em todos os ciclos ($P \leq 0,001$) e para a interação linhagens x safras, exceto nos ciclos I, V e VII (Tabela 2). A ocorrência de interação linhagens x safras na cultura do feijoeiro é frequentemente relatada na literatura. Inclusive, tem sido observado que ela é mais expressiva que a interação linhagens x locais (Matos et al., 2007; Carneiro et al., 2002).

TABELA 2 Resumo da análise de variância por ciclo da produtividade de grãos (kg/ha), envolvendo todas as linhagens oriundas do programa de seleção recorrente.

Ciclos	QM			Média	R ² (%) ^{1/}
	Safrs (S)	Linhagem (L)	S x L		
I	7627207,4*	447834,6*	272924,2	1873	73,10
II	35599100,6*	1141439,2*	352734,4*	2152	85,31
III	15152533,3*	710535,9*	261653,9*	2414	84,54
IV	10827329,7*	438791,2*	2148976**	3086	83,66
V	11270397,9*	223299,9*	154266,6	2415	78,99
VI	2600414,7*	271014,5**	410323,1**	2563	51,88
VII	1442805,4*	347292,5*	207331,6	2475	52,31
VIII	5473329,3*	813884,0*	383930,0*	2052	71,87

^{1/} Coeficiente de determinação do modelo estatístico

*,**: significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

O resumo da análise de variância combinada das linhagens de todos os ciclos mostra diferença significativa entre ciclos, safras, linhagens, interação linhagens x ciclos e interação linhagens x safras/ciclos (Tabela 3). A interação linhagens x ciclos evidenciou que o comportamento das testemunhas comuns não foi coincidente nos diferentes ciclos. Desse modo, o emprego de mais de uma testemunha é necessário em trabalhos dessa natureza, para possibilitar melhor ajuste do comportamento das linhagens obtidas nos diferentes ciclos.

TABELA 3 Análise de variância combinada da produtividade de grãos (kg/ha) envolvendo todas as linhagens oriundas dos oito ciclos de seleção recorrente do feijoeiro.

Fonte de variação	GL	QM	Pr>F
Ciclos	7	8505125,5	<0,0001
Safras /ciclo	34	11741859,2	<0,0001
Blocos/safras/ciclo	82	211177,3	0,1761
Linhagens	80	595641,9	<0,0001
Linhagens x ciclos	14	326795,1	0,0367
Linhagens x safras /ciclo	395	293019,8	<0,0001
Erro	910		
Média	2346,408		
R ² (%)	82,10		
CV (%)	18,24		

Neste trabalho, as testemunhas foram duas cultivares com grãos tipo carioca ('Carioca' e 'Carioca MG') e uma de grãos de cor preta ('Ouro Negro'), todas recomendadas para a região durante a maior parte do período de avaliação. Só mais recentemente as duas linhagens cariocas saíram da recomendação oficial.

Observa-se que ocorreu ligeira tendência de aumento na média das linhagens de cada ciclo com o decorrer dos mesmos (Tabela 4). O coeficiente de regressão (b_1) entre a variável independente número de ciclos e a variável dependente média dos ciclos foi de $b_1 = 68,58$ (Figura 1). Isso indica que o incremento na média das linhagens com a seleção recorrente foi de 68,58 kg/ha por ciclo. Esse valor corresponde a um ganho de 3,3% por ciclo.

Foi utilizado como referência para estimar o progresso genético em porcentagem o valor do intercepto da regressão e não a média das linhagens do ciclo I, porque as linhagens do ciclo I já foram provenientes de um ciclo seletivo. O valor do intercepto da regressão corresponderia à média das linhagens do ciclo 0. É como se fosse obtida a média das dez linhagens genitoras (Tabela 1) com que foi iniciado o programa de seleção.

Poder-se-ia argumentar que, como o número de linhagens obtido no final de cada ciclo foi diferente (Tabela 4), a estimativa do progresso poderia ser influenciada por essa diferença. Para comprovar esse fato, a estimativa do progresso foi obtida considerando uma amostra ao acaso de seis linhagens por ciclo. Observa-se que a estimativa de b_1 (Figura 2) foi bem semelhante à obtida quando se considerou número diferente de linhagens para se obter a média de cada ciclo (Figura 1).

Essa estimativa do progresso com a seleção recorrente para a produtividade de grãos do feijoeiro é de magnitude semelhante à obtida em outras situações, porém, em que foi avaliado menor número de ciclos (Singh et al., 1999) e inferior à relatada por Ranalli (1996) e Barron et al. (1999). Vale ressaltar que esses autores, além de avaliarem menor número de ciclos, utilizaram como referência as médias das progênies $S_{0.1}$ e $S_{0.2}$. O progresso genético com a seleção recorrente para a produtividade de grãos tem sido obtido em outras espécies de plantas autógamas, tais como trigo (Olmedo et al., 1995) e soja (Sumarno & Fehr, 1982; Werner & Wilcox, 1990).

Utilizando a população em estudo, Ramalho et al. (2005) estimaram o progresso com a seleção de 4,3% nos quatro primeiros ciclos. A metodologia utilizada foi por meio de experimento avaliando simultaneamente as cinco melhores linhagens de cada ciclo, todas sementes recém-multiplicadas em uma safra. O procedimento aqui utilizado, além de não exigir nenhum experimento adicional, estimou o ganho por meio das médias ajustadas em função das

testemunhas comuns. A estimativa do progresso genético pode ser considerada semelhante nas duas condições.

Depreende-se que a seleção recorrente realizada tem sido eficiente e a sua continuidade deverá possibilitar a obtenção de futuras linhagens com produtividade crescente.

TABELA 4 Produtividade média de grãos (kg/ha), ajustada em função das testemunhas comuns, das linhagens de feijoeiro de oito ciclos de seleção recorrente.

Ciclos	Média das linhagens	Média das testemunhas	Nº linhagens/ciclo
I	2186	2030	8
II	2125	2329	18
III	2180	2584	9
IV	2263	3183	6
V	2517	2328	10
VI	2341	2612	10
VII	2416	2466	10
VIII	2696	1840	7

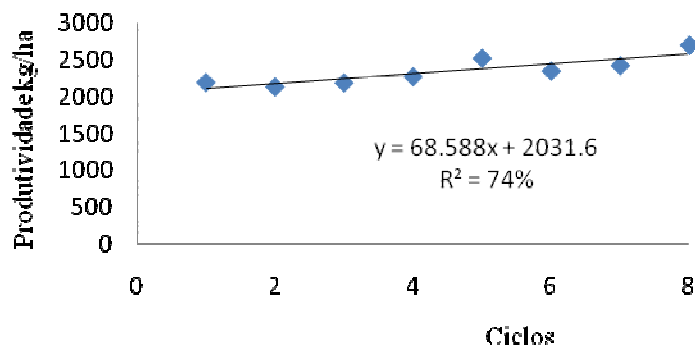


FIGURA 1 Equação de regressão linear entre a variável dependente, produtividade média de grãos (kg/ha) das linhagens de cada ciclo seletivo e a variável independente (x), número de ciclos seletivos.

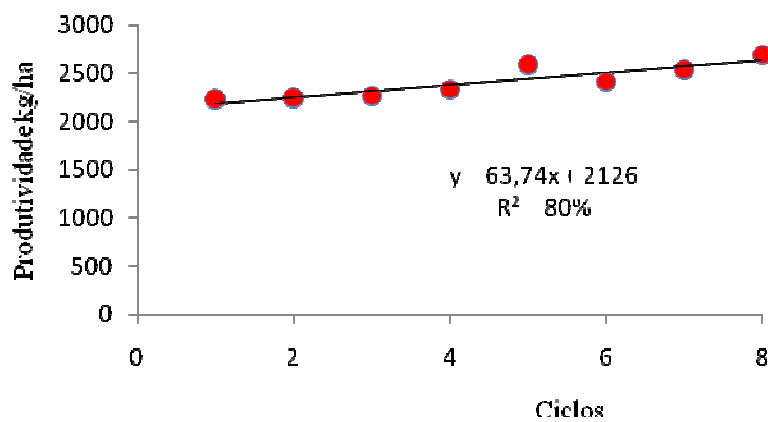


FIGURA 2 Equação de regressão linear entre a variável dependente, produtividade média dos grãos (kg/ha) das seis linhagens retiradas aleatoriamente de cada ciclo seletivo e a variável independente (x), número de ciclos seletivos.

6 CONCLUSÕES

A estimativa do progresso genético de 3,3% por ciclo possibilita inferir que a seleção recorrente para a produtividade de grãos é eficiente. O progresso genético total estimado até o oitavo ciclo é de 26,4%.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, L. D'A de; LEITÃO FILHO, H. F.; MIYASAKA, S. características do feijão carioca, um novo cultivar. **Bragantia**, Campinas, v. 30, n.1, p. 33-38, abr. 1971.

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**, Ribeirão Preto, v. 30, n. 3, p. 584-588, set. 2007.

BARRON, J.E.; PASINI, R. J.; DAVIS, D. W.; STUTHMAN, D. D.; GRAHAM, P. H. Response to selection for seed yield and nitrogen (N₂) fixation in common bean (*Phaseolus vulgaris*). **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 62, n. 2/3, p. 119-128, June 1999.

BASSET, M. J. List of genes: *Phaseolus vulgares* L. **Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, n. 47, p. 1-24, Mar. 2004.

CARNEIRO, J. E. S.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; GONCALVES, F. M. A. Potencial de cruzamentos simples, duplos e múltiplo no melhoramento do feijoeiro. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 1, n. 1, p. 123, 2002.

HALLAUER, A. R. Recurrent selection in maize. **Plant Breeding Reviews**, New York, v. 9, n. 1, p. 115-179, June 1992.

KOEYER, D. L. de; STUTHMAN, D. D.; FULCHER, R. G.; POMERANKE, G. J. Effects of recurrent selection for grain yield on oat kernel morphology. **Crop Science**, Madison, v. 33, n. 5, p. 924-928, Sept. 1993.

MATOS, J. W.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Trinta e dois anos do programa de melhoramento do feijoeiro comum em Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, nov./dez. 2007.

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, dez. 2008.

OLMEDO, A. O. B.; ELIAS, E. M.; CANTRELL, R. G. Recurrent selection for grain yield in durum wheat. **Crop Science**, Madison, v. 35, n. 3, p. 714-719, May/June 1995.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. **Feijão**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. p. 415-436.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B. Genetic progress after four cycles of recurrent selection for yield and grain traits in common bean. **Euphytica**, Wageningen, v. 144, n. 1/2, p. 23-29, July 2005.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B. Melhoramento de espécies autógamas. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S. de; VALADARES-INGLIS, M. C. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 201-230.

RANALLI, P. Phenotypic recurrent selection in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) based on performance of S₂ progenies. **Euphytica**, Wageningen, v. 87, n. 2, p. 127-132, Jan. 1996.

RANGEL, P. H. N.; ZIMMERMANN, F. J. P.; NEVES, P. C. F. Estimativas de parâmetros genéticos e resposta à seleção nas populações de arroz irrigado CNA IRAT 4 PR e CNA IRAT 4 ME. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 6, p. 905-912, jun.1998.

STATISTICAL ANALYSES SYSTEM. **SAS**: user's guide statistical version 8. Cary: SAS, 2000.

SILVA, G. S.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. . Genetic progress after five cycles of phenotypic recurrent selection for early flowering of carioca common bean. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v. 50, p. 29-30, Mar. 2007.

SINGH, S. P.; TERÁN, H.; MUNOZ, C. G.; TAKEGAMI, J. C. Two cycles of recurrent selection for seed yield in common bean. **Crop Science**, Madison, v. 39, n. 2, p. 391-397, Mar./Apr. 1999.

SUMARNO; FEHR, W. R. Response to recurrent selection for yield in soybeans. **Crop Science**, Madison, v. 22, n. 2, p. 295-299, Mar. 1982.

VIEIRA, C.; BORÉM, A.; RAMALHO, M. A. P. Melhoramento do feijão. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa, MG: UFV, 2005. p. 273-349.

WANG, X. W.; LAI, J. R.; FAN, L.; ZHANG, R. B. Effects of recurrent selection on populations of various generations in wheat by using the Tai Gu single dominant male-sterile gene. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 126, n. 4, p. 397-402, June 1996.

WERNER, B.K.; WILCOX, J.R. Recurrent selection for yield in *Glycine max* using genetic male-sterility. **Euphytica**, Wageningen, v.50, n.1, p.19-26, Oct. 1990.

WILCOX, J. R. Increasing seed protein in soybean with eighth cycles of recurrent selection. **Crop Science**, Madison, v. 38, n. 6, p. 1536-1540, Nov. 1998.

CAPITULO 3

VARIABILIDADE GENÉTICA APÓS NOVE CICLOS DE SELEÇÃO RECORRENTE PARA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS NO FEIJOEIRO

1 RESUMO

No melhoramento de plantas, normalmente, os melhoristas trabalham com caracteres controlados por inúmeros genes. Nessa condição, é improvável que a acumulação de todos os alelos favoráveis seja obtida em um ou poucos ciclos seletivos. A opção é o emprego da seleção recorrente (SR). Na Universidade Federal de Lavras vem sendo conduzido um programa de seleção recorrente com a cultura do feijoeiro para produtividade de grãos tipo carioca – cor creme com rajas marrons. Este trabalho foi realizado com o objetivo de estimar parâmetros genéticos e fenotípicos nos últimos ciclos de SR conduzidos para verificar se ainda há a possibilidade de progressos futuros com a seleção. A SR iniciou em 1990. Após a obtenção da população base (S_0), as progênies $S_{0.1}$ são avaliadas em um experimento. Posteriormente, as progênies da geração $S_{0.2}$ são novamente avaliadas em dois ou mais locais. As plantas das melhores progênies $S_{0.3}$ são recombinadas. Até o momento, utilizando esse procedimento, foram conduzidos nove ciclos seletivos. Utilizando-se dados da avaliação de progênies da geração $S_{0.2}$ dos ciclos VIII e IX foram estimados parâmetros genéticos e fenotípicos. Constatou-se que a estimativa da herdabilidade para a seleção na média das progênies foi semelhante nos dois ciclos e de magnitude a se antever progresso genético contínuo em ciclos futuros.

2 ABSTRACT

In plant breeding, breeders usually work with characters controlled by various genes. It is unlikely that under this condition, an accumulation of all the desirable alleles be obtained in one or few selective cycles. To solve this, recurrent selection (RS) has been applied. At The Universidade Federal de Lavras a recurrent selection program, which began in 1990, has been carried out for carioca bean crops – cream in colors with brown streaks. This work has the objective of estimating phenotypic and genetic parameters on the last conducted RS cycles in order to seek out for the possibility of having any future progress with the selection. After obtaining the base population (S_0) the $S_{0.1}$ and $S_{0.2}$ progenies are evaluated in an experiment. Then the $S_{0.2}$ progenies are re-evaluated in two or more sights. Later the best $S_{0.3}$ plants are recombined from. So far, nine selective cycles have been conducted through this procedure. The estimates of phenotypic and genetic parameters were done by making use of the data taken from $S_{0.2}$ generation progenies from the cycles VIII and IX. It was verified that the herdability estimate for the selection on progenies average was similar in both cycles, thus foreseeing the continuous genetic progress for future cycles.

3 INTRODUÇÃO

No melhoramento de plantas, normalmente, os melhoristas trabalham com caracteres controlados por numerosos genes. Nessa condição é improvável que a acumulação de todos os alelos favoráveis seja obtida em um ou em poucos ciclos seletivos. A opção é o emprego da seleção recorrente.

A seleção recorrente (SR) é, de modo geral, adotada por todos os melhoristas de plantas autógamas, pois eles, normalmente, nas hibridações para gerarem as populações segregantes a serem avaliadas nos próximos anos, utilizam linhagens que foram identificadas como superiores nos anos anteriores. Portanto, é um processo cíclico. Contudo, o emprego sistemático da seleção recorrente só vem ocorrendo em maior intensidade nas últimas três décadas. Ela tem sido empregada no melhoramento genético de vários caracteres, com relativo sucesso (Wilcox, 1998; Koeyer et al., 1993; Menezes Júnior et al., 2008; Silva et al., 2007).

No entanto, na maioria desses trabalhos, especialmente com a cultura do feijoeiro, as estimativas do progresso com a SR foram obtidas após poucos ciclos seletivos; no caso da produtividade de grãos, até quatro ciclos (Singh et al., 1999; Ranalli, 1996). Além do mais, nesses trabalhos pequena menção foi dada à possibilidade de futuros progressos.

Na Universidade Federal de Lavras (UFLA) vem sendo conduzido um programa de seleção recorrente para produtividade de grãos tipo carioca – cor creme com rajas marrons, desde 1990. O progresso estimado com essa SR foi de 26,4% após os oito ciclos seletivos (Silva et al., 2009). Como o que se espera com a seleção recorrente é incrementar a média da população, isto é, ter progressos genéticos com a seleção sem exaurir a variabilidade (Hallauer, 1992; Bernardo, 2002), o presente trabalho foi realizado com o objetivo de estimar

parâmetros genéticos e fenotípicos nos últimos ciclos de SR conduzidos, para verificar se ainda há possibilidade de progressos futuros com a seleção.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O programa de seleção recorrente da UFLA teve início em 1990. Um esquema do que foi realizado no período de 1990 a 2007 é apresentado na Figura 1. O programa vem sendo conduzido na área experimental da Universidade Federal de Lavras, em Lavras, MG, a 918 m de altitude, latitude 21°14'S e longitude 40°17'W. A população base foi obtida envolvendo os seguintes parentais: BAT 477, IAPAR 14, FT 84-29, Jalo, A-252, A-77, Ojo de Liebre, ESAL 645, Pintado e Carioca.

Foi realizado, inicialmente, um cruzamento dialélico para a obtenção dos híbridos simples. Algumas combinações não foram obtidas devido à incompatibilidade genética (Singh & Gutierrez, 1984; Vieira et al., 1999). Os híbridos simples obtidos foram posteriormente cruzados entre si, para a obtenção dos híbridos duplos. Cento e cinquenta sementes da geração F_2 de cada híbrido duplo com melhor aspecto de grãos foram misturadas para a obtenção da população original, ciclo 0 (C-0), geração S_0 .

Após avaliação das progênies $S_{0,1}$ e $S_{0,2}$, essa última em dois ou três ambientes, foram identificadas as melhores. Essas foram, então, intercruzadas utilizando-se as sementes $S_{0,3}$. A semeadura foi realizada em vasos e, de cada família, o número nunca era inferior a seis indivíduos. A recombinação era realizada por meio de um dialelo circulante em que o número de híbridos em que uma dada família participava era de dois ou mais. Posteriormente, as melhores progênies, agora linhagens, eram avaliadas em experimento de avaliação de linhagens elites. Nos demais ciclos, o procedimento foi semelhante.

Para estimar a variabilidade genética ainda existente na população foram utilizados os dados da avaliação das progênies $S_{0,1}$ a $S_{0,4}$ dos ciclos VIII e IX. Na Tabela 1 observam-se o número de progênies avaliadas por geração, o

número de locais, de repetições, o tamanho das parcelas e as épocas em que foram conduzidos os experimentos.

Nas diferentes gerações dos dois ciclos de SR, o delineamento adotado sempre foi o de látice quadrado parcialmente balanceado com duas ou três repetições.

O manejo da cultura foi sempre o recomendado para a região (Vieira et al., 2006). A cultura sempre recebeu irrigação suplementar por aspersão, exceto na semeadura realizada no mês de novembro.

Obtiveram-se os dados da produtividade de grãos, em gramas por parcela, que foram submetidos à análise de variância por geração e local. Quando o experimento foi conduzido em mais de um local, procedeu-se à análise conjunta, utilizando-se o seguinte modelo:

$$Y_{ikj} = \mu + t_i + l_k + b_{j(k)} + tl_{(ik)} + e_{(ikj)}$$

em que:

Y_{ikj} : observação da progênie i , no bloco j , no local k ;

μ : média geral;

t_i : efeito de progênie i ;

l_k : efeito de local k ;

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

$tl_{(ik)}$: interação progênie i x locais;

$e_{(ikj)}$: erro experimental;

Considerando os efeitos do erro e de progênie sempre como aleatórios e de locais e médias fixos, estimaram-se os componentes da variância genética e fenotípica utilizando procedimento semelhante ao apresentado por Ramalho et al., (2005). A estimativa da herdabilidade (h^2) para a seleção entre médias de progênie foi obtida pela expressão:

$h^2 = (\sigma_p^2 / \sigma_F^2) 100$, em que σ_p^2 é a variância genética entre progênies obtidas a partir das esperanças dos quadrados médios das análises de variância. Quando o experimento foi conduzido em mais de um local, a estimativa de σ_p^2 foi obtida considerando a covariância média entre médias de progênies dos locais dois a dois (Ramalho et al., 2005).

σ_F^2 é a variância fenotípica entre médias das progênies.

Pelas expressões apresentadas por Knapp et al. (1985), com confiança de $1 - \alpha = 0,95$, foram obtidos os limites inferiores (LI) e superiores (LS) das estimativas de herdabilidade (h^2):

$$LI = \left\{ 1 - \left[\left(\frac{Q_{MP}}{Q_{ME}} \right) \times F_{1-\alpha/2; v_1; v_2} \right]^{-1} \right\}$$

$$LS = \left\{ 1 - \left[\left(\frac{Q_{MP}}{Q_{ME}} \right) \times F_{\alpha/2; v_1; v_2} \right]^{-1} \right\}$$

em que

$F_{\alpha/2}$ e $F_{1-\alpha/2}$: valores tabelados da distribuição F, com v_1 e v_2 graus de

liberdade, sendo $\alpha = 0,05\%$;

v_1 e v_2 : graus de liberdade associados ao QM do numerador e denominador, respectivamente.

Q_{MP} : quadrado médio entre progênies;

Q_{ME} : quadrado médio do erro experimental;

Quando foi efetuada a análise de mais de um local, esse QM foi obtido da fonte de variação progênies x locais.

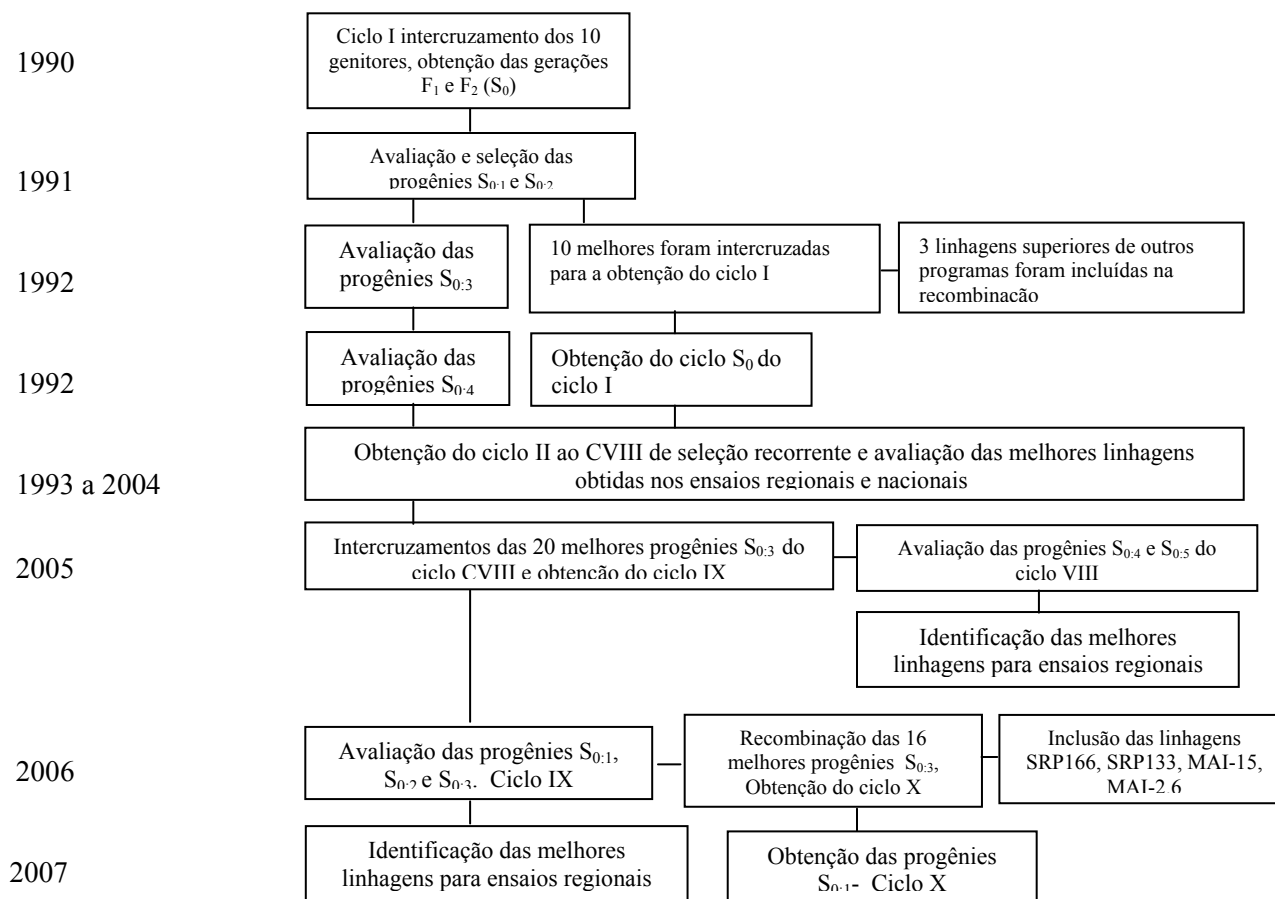


FIGURA 1 Esquema do procedimento da seleção recorrente no melhoramento do feijoeiro, período de 1990 a 2007.

TABELA 1 Dados dos experimentos de avaliação de progênies dos ciclos VIII e IX do programa de seleção recorrente do feijoeiro.

Descrição	Locais (Ambientes)	Nº progênies	Nº repetições	Tamanho parcela*	Época mês/ano
S _{0:1} VIII	Lavras	361	2	1 x 2	Nov./2004
S _{0:2} VIII	Lavras, Lambari e Patos de Minas	196	2	2 x 2	Fev./2005
S _{0:3} VIII	Lavras	81	3	2 x 2	Jul./2005
S _{0:4} VIII	Lavras, Lambari	36	3	2 x 2	Nov./2005
S _{0:1} IX	Lavras	361	2	1 x 2	Jul./2006
S _{0:2} IX	Lavras, Ijaci	144	2	2 x 2	Nov./2006
S _{0:3} IX	Lavras, Lambari e Patos de Minas	49	3	2 x 2	Mar./2007
S _{0:4} IX	Lavras, Lambari e Patos de Minas	25	3	2 x 3	Jul./2007

*linhas por metro.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo das análises da variância obtidas na avaliação do caráter produtividade de grãos, das gerações $S_{0:1}$ a $S_{0:4}$ do ciclo VIII está apresentado na Tabela 2. Foi detectada diferença significativa ($P \leq 0,01$) entre as progênies, em todas as gerações. A existência de variabilidade entre as progênies, nas diferentes gerações, é confirmada por meio do limite inferior e superior das médias nas diferentes gerações do ciclo VIII. Observa-se que a amplitude de variação (A) por geração em relação à média geral sempre foi superior a 50% (Tabela 3).

As estimativas da herdabilidade (h^2) para a seleção na média das progênies no ciclo VIII variou de 19,9%, geração $S_{0:4}$, a 54,9%, geração $S_{0:3}$ (Tabela 2). Considerando que o LI da h^2 foi sempre positivo, exceto na geração $S_{0:4}$, pode-se inferir que a estimativa da h^2 no ciclo VIII foi diferente de zero. Essa é uma condição que evidencia a presença de variabilidade e a possibilidade de sucesso com a seleção.

No ciclo IX, os resultados são semelhantes aos do ciclo VIII, ou seja, foi detectada diferença significativa ($P \leq 0,01$) entre as progênies, nas quatro gerações (Tabela 4). Também nessa geração o comportamento das médias das progênies mostra a existência de variabilidade. Observa-se que a amplitude de variação entre progênies foi, pelo menos, 38% acima da média geral (Tabela 5). No ciclo IX, as estimativas de h^2 foram semelhantes às do ciclo VIII (Tabelas 2 e 4).

A estimativa de h^2 obtida na presente situação é no sentido amplo, pois, entre progênies $S_{0:1}$ e $S_{0:2}$, ainda ocorre variância de dominância (V_D). Contudo, a proporção de V_D na geração $S_{0:1}$ é de apenas $\frac{1}{4}$ da existente na geração S_0 . Na $S_{0:2}$, a participação de V_D é de apenas $\frac{1}{16}$ (Souza Junior, 1989). Nas demais gerações, a contribuição de V_D para a variância genética entre progênies é ainda

menor. Além do mais, a contribuição da dominância para a produtividade de grãos no feijoeiro não tem sido detectada (Moreto et al., 2007) ou tem pequena participação (Foolad & Bassari, 1983; Moreto, 2008). Como a frequência alélica entre as progênes provenientes da seleção recorrente não é de $\frac{1}{2}$, a variância genética entre progênes contém, além de variância aditiva (V_A) e variância de dominância (V_D), também D_1 , covariância entre os efeitos aditivos dos alelos e os efeitos de dominância dos homozigotos e D_2 , variância dos efeitos de dominância dos homozigotos. Vale salientar que tanto D_1 como D_2 são capitalizados com a seleção (Bernardo, 2002). Dessa forma, para fins práticos, essa h^2 pode ser considerada como sendo no sentido restrito.

A comparação das estimativas de h^2 com as da literatura não é fácil, pois há variação no modo de obtenção, sobretudo na unidade seletiva. Estimativas de h^2 na cultura do feijoeiro, obtidas com progênes derivadas de plantas F_2 ou S_0 , variam de 13% (Collicchio et al., 1995) a 88% (Carneiro et al., 2002). Portanto, os valores obtidos na maioria das gerações no presente trabalho estão no intervalo das estimativas relatadas na literatura.

O que interessa na presente situação é verificar se a h^2 está reduzindo com a seleção recorrente. No ciclo VI, ela foi estimada utilizando progênes $S_{0.2}$ e o valor obtido foi de 46,3% (Ramalho et al., 2005). Como se observa, esse valor pode ser considerado de magnitude semelhante ao obtido no presente trabalho, tendo como referência o intervalo de confiança da h^2 . Depreende-se que a h^2 não tem sofrido expressiva redução com a SR. Assim sendo, como a SR foi eficiente em incrementar a média, era de se esperar redução na variabilidade genética.

Uma das razões é que, periodicamente, no momento da recombinação, além das progênes $S_{0.3}$ que são selecionadas, são incluídas duas ou três linhagens de outros programas, com grãos tipo carioca e que apresentam fenótipo favorável para algum caráter, tais como resistência a patógeno ou

arquitetura da planta. Essa é uma das grandes vantagens da SR em autógamas em relação às alógamas, pois, nessa última, a inclusão de novas linhagens/progênes na mesma população é mais difícil.

O progresso genético de 26,4% obtido após os oito ciclos de SR mostra que ela tem sido eficiente em incrementar a média (Silva et al., 2009). As estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos atestam que ainda há variabilidade genética para ganhos contínuos com a seleção. É importante, no entanto, melhorar ainda mais a precisão na avaliação das progênes, reduzindo o erro experimental e, conseqüentemente, aumentando a h^2 . É também uma prática importante continuar introduzindo linhagens de outros programas na recombinação. Deve-se tomar cuidado de só introduzir linhagens comprovadamente de boa produtividade e com grãos dentro do padrão comercial. Assim procedendo, a média da população não irá reduzir e as linhagens selecionadas no final serão melhores que as das gerações anteriores e com grãos carioca de boa aceitação.

TABELA 2 Resumo das análises da variância e estimativas da herdabilidade da produção de grãos, g/parcela, da avaliação das progênes do ciclo VIII da seleção recorrente em várias gerações.

Gerações	QM			Média	CV%	$h^2\%$	LI	LS
	Progênes	P x Locais	Erro					
S _{0:1}	5741,32**	-	3436,20	272,92	21,48	40,14	26,34	51,64
S _{0:2}	13273,24**	7988,72	6018,18	435,29	17,82	39,81	23,22	52,59
S _{0:3}	12392,06**	-	6796,61	516,75	15,95	54,91	18,70	62,59
S _{0:4}	25719,46**	14879,55	10074,59	414,85	24,20	42,15	-13,45	70,74

TABELA 3 Produtividade média de grãos (kg/ha), das progênies avaliadas no ciclo VIII de seleção recorrente, com seus limites inferior e superior e amplitude (A) em relação à média (M).

Gerações	Média	Limites		A/M (%)
		Inferior	Superior	
S _{0.1}	2729	818	4280	127
S _{0.2}	2176	1664	2944	59
S _{0.3}	2583	1888	3241	52
S _{0.4}	2074	1505	2830	64

TABELA 4 Resumo das análises da variância e estimativas da herdabilidade da produção de grãos, g/parcela, da avaliação das progênies do ciclo IX da seleção recorrente em várias gerações.

Gerações	QM			Média	CV%	h ² %	LI	LS
	Progênies	P x Locais	Erro					
S _{0.1}	9577,75**		7661,03	330,05	26,52	20,90	1,56	35,37
S _{0.2}	27529,13**	23656,99	12718,80	451,10	25,00	14,06	-19,42	38,16
S _{0.3}	23076,17**	13096,94	11024,21	654,85	16,03	43,24	4,98	64,67
S _{0.4}	38998,06**		31224,30	666,55	21,48	19,93	-69,20	58,26

TABELA 5 Produtividade média de grãos (kg/ha) das progênies avaliadas no ciclo IX de seleção recorrente com seus limites inferior e superior e amplitude (A) em relação à média (M).

Gerações	Média	Limites		A/M (%)
		Inferior	Superior	
S _{0:1}	3300	940	5289	132
S _{0:2}	2255	1319	3133	80
S _{0:3}	3274	2748	3984	38
S _{0:4}	2591	1651	3377	67

6 CONCLUSÕES

Após nove ciclos seletivos, a população que está sendo submetida à seleção recorrente ainda possui variabilidade genética suficiente para a continuidade do progresso genético com a seleção para produtividade de grãos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. Minnesota: Woodbury, 2002. 368 p.

CARNEIRO, J. E. S.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A.F. B.; GONCALVES, F.M.A. Potencial de cruzamentos simples, duplos e múltiplo no melhoramento do feijoeiro. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 1, n. 1, p. 123, 2002.

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

FOOLAD, M. R.; BASSIRI, A. Estimates of combining ability, reciprocal effects and heterosis for yield and yield components in a common bean diallel cross. **The Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 100, n. 1, p. 103-108, Feb. 1983.

HALLAUER, A. R. Recurrent selection in maize. **Plant Breeding Reviews**, New York, v. 9, n. 1, p. 115-179, June 1992.

KNAPP, S. J.; STROUP, W. W.; ROSS, W. M. Exact confidence intervals for heritability on a progeny mean basis. **Crop Science**, Madison, v. 25, n. 1, p. 192-194, Jan./Feb. 1985.

KOEYER, D. L. de; STUTHMAN, D. D.; FULCHER, R. G.; POMERANKE, G. J. Effects of recurrent selection for grain yield on oat kernel morphology. **Crop Science**, Madison, v. 33, n. 5, p. 924-928, Sept. 1993.

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, Dec. 2008.

MORETO, A. L.; RAMALHO, M. A. P.; NUNES, J. A. R.; ABREU, A. F. B. Estimação dos componentes da variância fenotípica em feijoeiro utilizando o método genealógico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1035-1042, jul./ago. 2007.

MORETO, A. L. **Epistasia em cruzamento de feijão andino x mesoamericano**. 2008. 67p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B. Genetic progress after four cycles of recurrent selection for yield and grain traits in common bean. **Euphytica**, Wageningen, v. 144, n. 1/2, p. 23-29, July 2005.

RANALLI, P. Phenotypic recurrent selection in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) based on performance of S₂ progenies. **Euphytica**, Wageningen, v. 87, n. 2, p. 127-132, Jan. 1996.

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, out. 2007.

SILVA, F. B.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B., NUMES, J. A. R. Estimativa do progresso genético, após oito ciclos de seleção recorrente, para produtividade de grãos do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 2009. Prelo

SINGH, S. P.; GUTIÉRREZ, J. A. Geographical distribution of the D11 and D12 genes causing hybrid dwarfism in *Phaseolus vulgaris* L., their association with seed size, and their significance to breeding. **Euphytica**, Wageningen, v. 33, n. 2, p. 337-345, June 1984.

SINGH, S. P.; TERÁN, H.; MUNOZ, C. G.; TAKEGAMI, J. C. Two cycles of recurrent selection for seed yield in common bean. **Crop Science**, Madison, v. 39, n. 2, p. 391-397, Mar./Apr. 1999.

SOUZA JUNIOR, C. L. **Componentes da variância genética e suas implicações no melhoramento vegetal**. Piracicaba: FEALQ, 1989. 134 p.

VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão**. Viçosa, MG: UFV. 2006. 600 p.

WILCOX, J. R. Increasing seed protein in soybean with eighth cycles of recurrent selection. **Crop Science**, Madison, v. 38, n. 6, p. 1536-1540, Nov. 1998.