

RODRIGO MOREIRA DE FREITAS

**PROGRESSO GENÉTICO DE TRÊS CICLOS DE SELEÇÃO
RECORRENTE NO MELHORAMENTO DE FEIJÃO VERMELHO**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2012

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

F866p
2012

Freitas, Rodrigo Moreira de, 1987-
Progresso genético de três ciclos de seleção recorrente no
melhoramento de feijão vermelho / Rodrigo Moreira de
Freitas. – Viçosa, MG, 2012.
vii, 42f. : il. ; 29cm.

Orientador: José Estácio de Souza Carneiro.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 37-42

1. Feijão - Melhoramento genético. 2. Seleção de plantas -
Melhoramento genético. I. Universidade Federal de Viçosa.
II. Título.

CDD 22. ed. 635.65233

RODRIGO MOREIRA DE FREITAS

**PROGRESSO GENÉTICO DE TRÊS CICLOS DE SELEÇÃO RECORRENTE
NO MELHORAMENTO DE FEIJÃO VERMELHO**

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

APROVADA: 28 de junho de 2012.

Pedro Crescêncio Souza Carneiro
(Coorientador)

Trazilbo José de Paula Júnior
(Coorientador)

Marciane da Silva Oliveira

José Eustáquio de Souza Carneiro
(Orientador)

Aos meus pais José e Nilza.

Às minhas irmãs Lara e Ana Cláudia.

Aos meus demais familiares e aos meus amigos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo.

A meus pais José e Nilza, pelo amor, carinho, pela força, confiança e por sempre me desejarem o melhor.

Às minhas irmãs Lara e Ana Cláudia, pelo amor, pela amizade e pelo incentivo.

À Fernanda, pelo companheirismo, amor, carinho e pela força.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela oportunidade de realização do Curso.

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

Ao CNPq, à CAPES e à FAPEMIG, pelo apoio financeiro em todas as atividades de pesquisa do Programa Feijão da UFV.

Ao meu orientador Professor José Eustáquio de Souza Carneiro, por sua segura orientação, amizade, dedicação e pelos seus ensinamentos. Mais que um professor, um exemplo a ser seguido.

Ao professor Pedro Crescêncio Souza Carneiro, pela coorientação, pela amizade, pelos valiosos conhecimentos transmitidos e pela disponibilidade.

Ao Dr. Trazilbo José de Paula Júnior, pela coorientação e amizade.

Aos membros da banca Professor Pedro Crescêncio Souza Carneiro, Dr. Trazilbo José de Paula Júnior e Dra. Marciane da Silva Oliveira, pela disponibilidade e sugestões para o enriquecimento deste trabalho.

Aos meus amigos do Programa Feijão, pelo trabalho em equipe, fundamental para a condução dos experimentos, pela descontração e troca de experiências.

A todos os meus amigos com os quais convivi desde os tempos de graduação e aos tantos companheiros de república, pela convivência enriquecedora.

Aos funcionários da Agronomia e da estação experimental de Coimbra, pela ajuda na condução dos experimentos.

Ao Gilberto, pela amizade e disponibilidade, sendo fundamental nas atividades de pesquisa do Programa Feijão.

A todos aqueles que contribuíram, de alguma forma, para a realização deste trabalho, e para o meu crescimento profissional.

BIOGRAFIA

RODRIGO MOREIRA DE FREITAS, filho de José Borges de Freitas e Nilza Moreira de Freitas Lima, nasceu em 1º de julho de 1987, em Lagoa Formosa, Estado de Minas Gerais.

Em maio de 2006, ingressou no Curso de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), graduando-se Engenheiro Agrônomo em julho de 2010.

Em agosto de 2010, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da UFV, em nível de Mestrado, submetendo-se à defesa da Dissertação em junho de 2012.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	vi
ABSTRACT.....	vii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Feijão: a cultura e o melhoramento no Brasil	3
2.2. Seleção recorrente no melhoramento do feijoeiro	7
2.3. Melhoramento do feijão vermelho	12
3. MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1. Estratégia de melhoramento utilizada e local de condução dos experimentos	15
3.2. Obtenção da população base	15
3.3. Obtenção da população do terceiro ciclo (C_{II})	15
3.4. Avaliação das famílias $F_{2;3}$ e $F_{2;4}$ do terceiro ciclo (C_{II})	18
3.5. Seleção de famílias para recombinação e extração de linhagens (C_{II})	20
3.6. Avaliação das linhagens derivadas do C_{II} e do progresso genético	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1. Avaliação e seleção das famílias do C_{II}	23
4.2. Avaliação simultânea das linhagens dos três ciclos (C_0 , C_I e C_{II})	30
4.3. Progresso genético de três ciclos de seleção.....	34
5. CONCLUSÕES	36
6. REFERÊNCIAS	37

RESUMO

FREITAS, Rodrigo Moreira de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2012. **Progresso genético de três ciclos de seleção recorrente no melhoramento de feijão vermelho.** Orientador: José Eustáquio de Souza Carneiro. Coorientadores: Pedro Crescêncio Souza Carneiro e Trazilbo José de Paula Júnior.

O feijão vermelho tem aceitação regionalizada, sendo cultivado por pequenos produtores da Zona da Mata de Minas Gerais. O Programa Feijão da Universidade Federal de Viçosa (UFV), desde o final da década de 1990, vem se dedicando ao melhoramento desse tipo de grão. A principal estratégia de melhoramento utilizada pela UFV no melhoramento do feijão vermelho é a seleção recorrente. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivos avaliar o progresso genético após três ciclos de seleção recorrente no melhoramento de feijão vermelho e identificar linhagens promissoras para composição dos futuros ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) no Estado de Minas Gerais. Foram derivadas linhagens de cada ciclo de seleção (C_0 , C_I e C_{II}) e estas avaliadas em um mesmo experimento, na safra do inverno de 2011, na Estação Experimental do Departamento de Fitotecnia, UFV, em Coimbra – MG. O experimento foi constituído de 225 tratamentos, sendo cinco testemunhas e 220 linhagens (30 do C_0 , 30 do C_I e 160 do C_{II}). Utilizou-se o delineamento em látice quadrado simples, sendo as parcelas constituídas por duas linhas de 1 m. As seguintes características foram avaliadas: produtividade de grãos, arquitetura de plantas, resistência à ferrugem e aspecto dos grãos. Com base na média das linhagens mais promissoras de cada ciclo (30 de cada), foram estimados os progressos genéticos. O progresso genético após três ciclos de seleção recorrente foi de 40,05% para produtividade de grãos, 59,21% para resistência à ferrugem, 12,90% para arquitetura de plantas e 12,76% para aspecto de grãos, comprovando a eficiência dessa estratégia no melhoramento do feijoeiro. Foram obtidas linhagens de feijão vermelho superiores à cultivar Ouro Vermelho, com alta produtividade, bom aspecto de grãos, boa arquitetura de planta e resistentes à ferrugem. Estas linhagens têm potencial para serem incluídas em futuros ensaios de VCU no estado de Minas Gerais.

ABSTRACT

FREITAS, Rodrigo Moreira de, M.Sc., Federal University of Viçosa, June, 2012.
Genetic progress of three cycles of recurrent selection in the breeding of red bean.
Adviser: José Eustáquio de Souza Carneiro. Co-Advisers: Pedro Crescêncio Souza Carneiro and Trazilbo José de Paula Júnior.

The red beans are traditionally consumed and are cultivated by small producers in the region of Zona da Mata, in the State of Minas Gerais, Brazil. Since the late 1990's, the Bean Breeding Program, of the Federal University of Viçosa (UFV) has worked with the breeding of this bean type. The main strategy used by UFV with the red bean breeding is the recurrent selection. In this context, the objective of this study was to evaluate the genetic progress after three recurrent selection's cycles in the red bean breeding and to identify promising lines for future inclusion in the evaluations called Value for Cultivation and Use (VCU) in Minas Gerais. There were derived lines in each selection cycle (C_0 , C_I and C_{II}) and these lines were evaluated in the same experiment, in the winter season 2011, in the Experimental Station of the Department of Plant Science, UFV, Coimbra – MG. The experiment consisted of 225 treatments - 220 lines (30 of the C_0 , 30 of the C_I and 160 of the C_{II}) and five control treatments. The simple square lattice design was used, with plots consisting of two rows of 1,0 m. The following characteristics were evaluated: grain yield, plant architecture, rust severity and grain aspect. Based on the average of the most promising lines of each cycle (30 of each) the genetic progress was estimated. The genetic progress after three cycles of recurrent selection was 40.05% for grain yield, 59.21% for rust severity, 12.90% for plant architecture and 12.76% for grain aspect, confirming the efficiency of this strategy in the bean breeding. Red bean lines better than the cultivar Ouro Vermelho were obtained, with high yield, good grain aspect, good plant architecture and resistant to rust. These lines have potential to be included in future trials of VCU in Minas Gerais.

1. INTRODUÇÃO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) figura entre as leguminosas alimentícias mais importantes do mundo. No Brasil, é cultivado na maioria dos estados, principalmente no Paraná, Minas Gerais, Bahia, São Paulo e Goiás, os quais representaram mais de 70% da produção nacional na safra 2009/2010 (CONAB, 2012). É uma cultura de elevado valor social, pois é um dos alimentos básicos e uma das principais fontes de proteína da população brasileira, além de ser uma cultura geradora de emprego, uma vez que requer muita mão de obra durante todo o ciclo.

Vários programas de melhoramento de feijão têm dado ênfase aos grupos carioca e preto, devido à aceitação desses tipos de grão (CUNHA et al., 2005; RAMALHO et al., 2005a; MELO et al., 2006; SILVA et al., 2007; BOTELHO et al., 2010; COSTA et al., 2010). Entretanto, outros tipos de feijão são muito importantes em determinadas regiões do país. É o caso, por exemplo, do feijão vermelho, amplamente cultivado na Zona da Mata de Minas Gerais, onde esse tipo de grão tem ampla aceitação, tomando posição de destaque com contínuo aumento da área cultivada. Esse tipo de feijão tem sido muito importante na economia dessa região, por ser mais valorizado no mercado. Sua aceitação, não só nesta região, vem aumentando gradativamente. Porém, as cultivares disponíveis para os agricultores têm deixado a desejar, especialmente no que se refere à resistência a patógenos.

Considerando a importância do feijão vermelho para a Zona da Mata mineira, o Programa Feijão da Universidade Federal de Viçosa (UFV), no final da década de 1990, iniciou os trabalhos de melhoramento desse tipo de grão, visando disponibilizar aos produtores da região cultivares melhoradas, com produtividade superior à dos tipos carioca e preto, garantindo, assim, sua viabilidade de produção.

Fruto recente deste trabalho foi a recomendação da cultivar Ouro Vermelho (CARNEIRO et al., 2006), com produtividade 30% superior à do feijão conhecido como Vermelhinho, que era amplamente cultivado na região da Zona da Mata de Minas Gerais, porém sem recomendação oficial. Essa cultivar proporcionou ganhos expressivos em produtividade e maior oferta de feijão vermelho no mercado, beneficiando, assim, tanto o produtor quanto o consumidor.

Contudo, como a demanda por feijão vermelho tem sido cada vez maior, é necessário que sejam obtidas novas cultivares, superiores às já em uso pelos agricultores. As novas cultivares, além de mais produtivas, devem apresentar maior

espectro de resistência aos patógenos e outros fenótipos desejáveis, como plantas de porte ereto. Pelo fato de os vários fenótipos de interesse estarem distribuídos em diferentes genitores, é quase impossível reuni-los em um único ciclo seletivo. Por esse motivo, tem sido proposto o uso da seleção recorrente (HALLAUER, 1992), que é a condução de ciclos contínuos de seleção e recombinação (GERALDI, 1997). Essa estratégia vem sendo utilizada com sucesso no melhoramento do feijoeiro, visando à obtenção de linhagens superiores para várias características de interesse (SINGH et al., 1999; RAMALHO et al., 2005a; AMARO et al., 2007; SILVA et al., 2007; MENEZES JÚNIOR et al., 2008; Silva et al. 2010; MENEZES JÚNIOR, 2011).

Nesse contexto, este trabalho foi realizado com os objetivos de avaliar o progresso genético após três ciclos de seleção recorrente no melhoramento de feijão vermelho e identificar linhagens promissoras para composição dos futuros ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) no Estado de Minas Gerais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Feijão: a cultura e o melhoramento no Brasil

O Brasil é o maior produtor e consumidor mundial de feijão comum, apresentando um consumo *per capita* de cerca de 16 kg/ano (BORÉM; CARNEIRO, 2006). Entretanto, a média de produtividade brasileira é considerada baixa, sendo de 921 kg/ha na safra 2009/2010 (CONAB, 2012). Além disso, essa média de produtividade é instável ao longo dos anos, visto que essa cultura é altamente influenciada pelas condições ambientais. Esta baixa produtividade tem origens complexas, podendo ser explicada, em parte, pelo fato de o feijão ser produzido principalmente por pequenos agricultores, que deixam a desejar quanto ao uso de adubação, ao controle de pragas e doenças e às sementes utilizadas no plantio. Além disso, o feijão ainda é cultivado, em sua maioria, em sistema de sequeiro. Somente 12% da produção de feijão vem de áreas irrigadas (PAULA JÚNIOR et al., 2010), onde se emprega alta tecnologia.

Apesar de a produtividade média brasileira ser considerada baixa, produtores que utilizam alta tecnologia, como irrigação, semente certificada, e controle eficiente de pragas e doenças, conseguem ultrapassar a marca de 3000 kg/ha (BORÉM; CARNEIRO, 2006), mostrando o grande potencial produtivo da cultura. Em regiões onde predomina o feijão irrigado, como no Estado de Goiás e no Distrito Federal, a produtividade média já passa de 2500 kg/ha (CONAB, 2012). Hoje já se fala em adotar uma tecnologia para a cultura que seja eficiente para que se consiga uma produção de 6000 kg/ha.

A melhoria no manejo poderia aumentar muito a média nacional de produtividade de feijão. Entretanto, a realidade do país não permite que todos os produtores de feijão tenham acesso a tecnologias de alto custo, como a irrigação. Assim, o caminho mais viável para elevar a produtividade média brasileira é o melhoramento genético, uma vez que apenas a utilização de sementes de cultivares melhoradas não implica aumento significativo no custo de produção.

O melhoramento genético beneficia tanto pequenos quanto grandes produtores, pois é uma tecnologia que visa diminuir os custos de produção e aumentar a produtividade. Portanto, o acesso a cultivares melhoradas é fator muito importante para que os agricultores brasileiros consigam aumentar a produtividade sem elevar os custos de produção e, conseqüentemente, obter maior lucro.

Escolhendo de maneira correta a cultivar, o produtor pode diminuir o custo de produção, através, por exemplo, através da redução no uso de fungicidas, com a adoção de cultivares resistentes a doenças. O melhoramento genético é o melhor exemplo de sustentabilidade na agricultura, pois proporciona maior eficiência no uso dos recursos disponíveis, mantendo a produção em níveis necessários para satisfazer as necessidades da crescente população mundial, sem degradar o meio ambiente.

Vencovsky e Ramalho (2000) destacaram que o melhoramento genético foi um dos principais responsáveis pelo aumento de produtividade das espécies cultivadas mais importantes, inclusive o feijão comum. Estima-se que aproximadamente 50% do aumento do rendimento das principais culturas seja devido ao melhoramento genético (RIBEIRO et al., 2009). Esse aumento de produtividade tem sido o principal responsável por atender à demanda crescente de alimentos e de outros produtos agrícolas. Segundo Torga et al. (2010), as técnicas clássicas de melhoramento têm eficiência comprovada e resultaram em contínuos ganhos genéticos em produtividade ao longo de vários anos, para várias culturas; para o feijão comum, estima-se que esses ganhos sejam de 1,6% ao ano (MATOS, 2005).

Apesar de os recursos disponíveis para os programas de melhoramento das culturas de subsistência, como arroz e feijão, serem baixos, frequentemente novas cultivares chegam ao mercado. A economia de nosso país tem se sustentado, com sucesso, no agronegócio, e a obtenção de novas cultivares pelos programas de melhoramento é uma das principais razões desse sucesso.

O desenvolvimento de novas cultivares de feijão que substituam com vantagens as já existentes tem sido um desafio constante nos programas de melhoramento da cultura. A identificação de novas cultivares que atendam aos objetivos dos agricultores e consumidores envolve atividades de pesquisa que demandam dedicação e, sobretudo, continuidade (RAMALHO; ABREU, 2006). Os principais objetivos dos programas de melhoramento têm sido o aumento da produtividade e a resistência às doenças. Mas, atualmente, outras características têm despertado a atenção dos melhoristas, como resistência à seca e arquitetura de planta mais apropriada à colheita mecanizada (VIEIRA et al., 2005). O porte ereto e o menor acamamento das plantas facilitam a colheita, tanto mecanizada quanto manual, e os demais tratamentos culturais. Por essa razão, a arquitetura de planta tem recebido grande atenção dos melhoristas (COLLICCHIO et al., 1997; CUNHA et al., 2005; MENEZES JÚNIOR et al., 2008).

Vieira et al. (2005) discutem os principais propósitos do melhoramento do feijoeiro, ressaltando que alguns deles estão recebendo pouca atenção, como a resistência a pragas, a fixação simbiótica de nitrogênio e a tolerância à seca. O primeiro e mais importante propósito do melhoramento do feijoeiro é o aumento na produtividade de grãos. Na literatura são encontrados vários relatos de ganhos para produtividade de grãos em feijão (RIBEIRO et al., 2003; RAMALHO et al., 2005a; MATOS et al., 2007; CHIORATO et al., 2010). Entretanto, os fracassos são relativamente comuns, sendo atribuídos, entre outras razões, à baixa herdabilidade da característica, às elevadas interações genótipos x ambientes e à capacidade geral de combinação nula ou negativa dos genitores (SINGH, 1991).

A resistência a doenças também tem recebido grande atenção dos melhoristas, pois é grande o número de patógenos que podem prejudicar a cultura. Em geral, as doenças mais importantes para a cultura no Brasil são o mosaico dourado, o crestamento bacteriano comum, a antracnose, a ferrugem e a mancha angular (VIEIRA et al., 2005). Contudo, outras doenças também são bastante prejudiciais, como a murcha de fusarium e o mofo branco. No plantio irrigado de inverno, o mofo branco é extremamente importante. A alternativa mais viável para o agricultor controlar as doenças é a obtenção de cultivares resistentes (COUTO et al., 2008).

Outro propósito discutido por Vieira et al. (2005) é a resistência a pragas, que incluem insetos, ácaros e lesmas. Esses autores enfatizaram que o melhoramento para resistência a pragas não tem recebido a mesma atenção que o melhoramento para resistência a doenças. Destaque foi dado apenas para resistência à cigarrinha verde e aos carunchos. Portanto, essa é uma área bastante carente e promissora no melhoramento do feijoeiro.

Já o melhoramento para qualidade dos grãos tem recebido grande atenção dos programas de melhoramento, pois o consumidor é muito exigente e procura apenas pelo feijão de boa aparência, de fácil cozimento, que não seja cascudo, que tenha bom sabor e apresente caldo grosso e de cor atrativa (VIEIRA et al., 2005). Na literatura são encontrados alguns trabalhos de melhoramento para qualidade de grãos em feijoeiro (CARBONELL et al., 2003; RAMALHO et al., 2005a; RODRIGUES et al., 2005). A qualidade dos grãos deve ser um gargalo na seleção de novas cultivares, devendo-se descartar as linhagens que não apresentem grãos de qualidade, uma vez que estas, se chegarem às mãos dos consumidores, serão rejeitadas.

A fixação simbiótica de nitrogênio também é outro propósito discutido por Vieira et al. (2005). De modo geral, não se tem dado muita importância a essa prática, uma vez que ela é pouco eficiente. Assim, os agricultores empregam fertilizantes nitrogenados para obter altos rendimentos. Entretanto, esta é uma característica que pode trazer grande economia na utilização de fertilizantes químicos. Com esse objetivo, existem pesquisadores que estão trabalhando para melhorar a eficiência da seleção de plantas com maior potencial de fixação simbiótica (PEREIRA; BRAIDOTTI, 2001).

O melhoramento da arquitetura das plantas do feijoeiro é relatado por Vieira et al. (2005) como um objetivo voltado para áreas em que o feijão é produzido sob irrigação, com pivôs centrais, que utilizam alta tecnologia, inclusive colheita com máquinas, uma vez que as cultivares prostradas não permitem fazer a colheita com colheitadeira, à semelhança da cultura da soja, pois as perdas são grandes. Linhagens que apresentam plantas bem eretas e com resistência ao acamamento têm sido a preferência dos melhoristas, porque facilitam os tratos culturais e, na maturação, suas vagens não tocam o solo úmido, garantindo grãos de melhor qualidade. Além disso, quando a colheita coincide com períodos de chuvas prolongadas, é possível retardá-la com menor prejuízo. Plantas com esse fenótipo também podem reduzir a incidência de alguns patógenos, como o mofo branco (KOLKMAN; KELLY, 2002), pois permitem melhor circulação de ar, promovendo condições menos favoráveis ao patógeno. Ramalho e Abreu (2006) relacionam essa característica como uma das mais importantes a serem observadas no melhoramento do feijoeiro. Contudo, a seleção de plantas com boa arquitetura é tarefa difícil, pois são muitas as características que a compõem.

As principais estratégias de melhoramento utilizadas na cultura do feijoeiro se enquadram em três categorias: a introdução de linhagens superiores desenvolvidas pelos programas de melhoramento do país ou do exterior; a utilização da variabilidade natural disponível no material em uso pelos agricultores; e a geração de variabilidade através de cruzamentos artificiais (hibridação). Essa terceira estratégia tem sido a mais empregada no melhoramento da cultura.

Na condução de um programa de melhoramento por hibridação, as principais etapas são a escolha dos genitores, a obtenção da população segregante e a condução das populações à homozigose (seleção de linhagens). Os métodos tradicionais para condução de populações segregantes normalmente utilizados no melhoramento do

feijoeiro são: método genealógico ou "pedigree", método da população ou "bulk" e SSD (descendência por uma única semente). Mais recentemente, o método "bulk" dentro de famílias derivadas de plantas F₂ vem sendo muito utilizado. Outro método de melhoramento por hibridação é a seleção recorrente.

2.2. Seleção recorrente no melhoramento do feijoeiro

A seleção recorrente foi proposta, inicialmente, para o melhoramento de plantas alógamas (HULL, 1945), devido à facilidade na recombinação. No caso específico do feijoeiro, a recombinação também não é problema, fazendo que essa estratégia possa ser utilizada com sucesso (SINGH et al., 1999; RAMALHO et al., 2005a; AMARO et al., 2007; MENEZES JÚNIOR, 2011). Na seleção recorrente, os cruzamentos são realizados entre os melhores indivíduos ou famílias, de modo a aumentar a frequência de alelos favoráveis na população (GERALDI, 1997).

A seleção recorrente é um método dinâmico, em que os melhores indivíduos ou famílias selecionados em um ciclo de seleção são recombinados de maneira direcionada, organizada e pré-determinada, evitando que o programa perca a continuidade. Uma grande vantagem da seleção recorrente é que a sua utilização deixa o programa de melhoramento mais organizado (MENEZES JÚNIOR, 2011).

Todos os métodos de melhoramento de autógamas podem ser caracterizados como recorrentes, uma vez que, independentemente do método, as melhores linhagens obtidas são utilizadas em cruzamentos, para gerar novas populações segregantes. A diferença é que, na seleção recorrente, os cruzamentos são realizados entre os melhores indivíduos ou famílias da população melhorada, de maneira que a frequência de alelos favoráveis para o caráter selecionado aumente a cada ciclo de seleção, sem que a variabilidade seja esgotada. Com isso, o tempo gasto para obter uma nova população melhorada com a seleção recorrente é menor quando comparado com os outros métodos, pois os cruzamentos são realizados com maior frequência. No melhoramento do feijoeiro, empregando-se a seleção recorrente é possível obter linhagens potenciais a cada ciclo que, geralmente, leva de dois a três anos quando a avaliação é feita utilizando famílias (RAMALHO et al. 2005a).

A seleção recorrente é definida como qualquer sistema designado para aumentar gradativamente a frequência de alelos desejáveis para características quantitativas, por meio de repetidos ciclos de seleção e recombinação (HALLAUER, 1992). Ramalho et al. (2001) definiram a seleção recorrente como qualquer processo

cíclico de melhoramento que envolve a obtenção de famílias, sua avaliação e o inter cruzamento das melhores. Dessa forma, espera-se que a frequência dos alelos favoráveis seja aumentada e, por consequência, que os fenótipos melhorem. Esse processo é dinâmico e contínuo e visa alterar a média populacional de um ou mais caracteres, de acordo com os interesses da exploração agrícola, sem exaurir a variabilidade genética da população (GERALDI, 1997).

Quando se trata, principalmente, de caracteres quantitativos, encontram-se na literatura vários argumentos a favor da utilização da seleção recorrente (FOUILLOUX; BANNEROT, 1988; RAMALHO, 1997). Como principais vantagens da seleção recorrente, têm-se: a obtenção de maior variabilidade genética oriunda dos inter cruzamentos; a oportunidade para a ocorrência de recombinações, devido aos inter cruzamentos sucessivos; o aumento das frequências dos alelos favoráveis, devido a um processo repetitivo de seleção; e a facilidade para incorporação de germoplasma exótico na população, durante a recombinação.

Um programa de seleção recorrente tem início com a escolha dos genitores, etapa que merece máxima atenção do melhorista, pois todo o sucesso da empreitada depende dela. Essa escolha é primordial para se ter sucesso em curto, médio ou longo prazo. Do inter cruzamento dos genitores, obtém-se a geração F_1 , que é autofecundada para a obtenção da geração F_2 , que é a população base no programa de seleção recorrente. A população base deve apresentar média alta para o(s) caráter(es) de interesse e variabilidade genética suficiente para obtenção de ganho com a seleção (RAMALHO et al., 2001). Assim, devem ser escolhidas como genitores do programa de seleção recorrente linhagens e, ou, cultivares mais adaptadas às condições de cultivo e de diferentes origens. Linhagens exóticas ou pouco adaptadas podem aumentar a variabilidade, porém reduzem a média populacional. Se for necessário incluir linhagens mal adaptadas, deve-se conduzir, à parte, um programa de retro cruzamento, para aumentar seus níveis de adaptação e, só depois, incluir seus descendentes no inter cruzamento.

O número de genitores a serem envolvidos na formação da população base é um ponto que merece ser discutido. Deve-se tomar cuidado para que nem a contribuição alélica de cada genitor nem a probabilidade de associar alelos de interesse para a maioria dos locos sejam pequenas. Imagina-se inicialmente que quanto maior o número de genitores, melhor, porém, se esse número for grande, a contribuição alélica de cada parental será pequena, com grandes chances de se perder

alelos logo no início do processo. Quando pequeno, associar os alelos de interesse para a maioria dos locos é pouco provável. Para plantas autógamas, o número de genitores recomendado tem sido de 10 a 20 (VIEIRA et al., 2005). Assim, obter boa variabilidade e manter na população os alelos de todos os genitores é relativamente fácil, principalmente se a recombinação for bem feita.

No caso do feijoeiro, a utilização da macho esterilidade na etapa de intercruzamento é possível, porém algumas dificuldades são encontradas, como o pólen que não se dispersa naturalmente e a dificuldade na identificação e manutenção das plantas macho estéreis. Com estas dificuldades e considerando que os cruzamentos são feitos de forma direcionada, o cruzamento manual é a melhor opção. Nesse sentido, há algumas alternativas, como a realização de cruzamentos múltiplos (CARNEIRO et al., 2002). Uma alternativa que tem sido utilizada com sucesso em programas de seleção recorrente é a metodologia proposta por Bearzoti, descrita por Ramalho et al. (2001), em que os genitores são cruzados segundo um esquema de dialelo circulante, em que cada um participa de dois cruzamentos. Os cruzamentos são direcionados de forma que, nos sucessivos intercruzamentos, a contribuição de cada genitor seja a mesma.

Depois de a população base ser obtida, a próxima etapa da seleção recorrente é a avaliação dos melhores indivíduos ou famílias, com posterior seleção. A avaliação e seleção podem ser feitas de várias maneiras. Ela pode ser massal ou utilizando algum tipo de família. A seleção massal (individual), que é normalmente visual, é recomendada para caracteres de alta herdabilidade (AMARO et al., 2007; SILVA et al., 2007). Utilizando famílias, podem-se montar experimentos com repetições ou, até mesmo, sem repetições. Podem-se utilizar famílias de meios irmãos, irmãos completos ou endógamas (F_3 , F_4 , etc.). O uso de famílias endogâmicas tem sido o mais comum, sendo avaliadas, principalmente, $F_{2:3}$ e $F_{2:4}$ (RAMALHO et al., 2001). Após avaliar e selecionar os melhores indivíduos ou famílias, estes são intercruzados, para iniciar um novo ciclo de seleção. O intercruzamento dos indivíduos ou famílias selecionados poderá ser efetuado por meio dos mesmos procedimentos comentados para o intercruzamento dos genitores.

Quando a seleção é realizada utilizando plantas individuais, estas podem ser recombinadas no campo. Dessa forma, é possível avançar um ciclo de seleção recorrente por safra, como para florescimento precoce (SILVA et al., 2007), em que as plantas que florescem primeiro já são recombinadas. Quando a seleção é baseada

na avaliação de famílias, a obtenção de um ciclo de seleção leva, geralmente, de dois a três anos (RAMALHO et al. 2005a). Independente da metodologia empregada, o processo é repetido a cada ciclo de seleção: obtenção da população base; avaliação e seleção de indivíduos ou famílias; e recombinação dos melhores.

A avaliação do progresso genético é passo muito importante em programas de seleção recorrente e deve ser realizada periodicamente, visando orientar o melhorista na condução dos ciclos seguintes e, também, para auxiliar na tomada de decisões importantes sobre alternativas que podem aumentar o ganho genético. Os progressos genéticos referem-se às alterações observadas nas características de interesse durante um ciclo de seleção, com a recombinação e multiplicação das unidades selecionadas. Tais modificações ocorrerão em magnitude e sentido variados, dependendo da estratégia e dos critérios de seleção adotados. Nesse sentido, uma das atribuições mais importantes do melhorista de plantas é identificar critérios de seleção capazes de promover alterações, no sentido desejado, nas características de interesse dentro de um programa de melhoramento (REIS et al., 2004). É através do progresso genético que os programas de melhoramento devem ser avaliados periodicamente, na tentativa de averiguar seu sucesso, buscar novas metodologias que venham ampliar sua eficácia e orientar futuras ações de pesquisa (BORGES et al., 2009).

Há algumas metodologias que são utilizadas para estimar o progresso genético, entre elas a comparação das populações F_2 obtidas após cada recombinação; o emprego de testemunhas comuns na avaliação das famílias em cada ciclo (AMARO et al., 2007; MENEZES JÚNIOR et al., 2008); a comparação simultânea de famílias extraídas de vários ciclos de seleção (SINGH et al., 1999; RANALLI, 1996; SILVA et al., 2007); e a utilização das melhores linhagens identificadas nos diferentes ciclos (RAMALHO et al., 2005a; MENEZES JÚNIOR, 2011). Esse último procedimento, pelo menos em princípio, é superior aos anteriores, pois as linhagens são escolhidas depois de várias gerações de avaliação e em diferentes épocas de semeadura, tendo-se maior segurança na identificação das linhagens superiores.

Visando à obtenção de cultivares resistentes ao mofo branco, Lyons et al. (1987) verificaram aumento na resistência após três ciclos de seleção recorrente. O ganho genético obtido do ciclo zero (C_0) ao ciclo dois (C_{II}) foi de 50%, quando se utilizou o comprimento da lesão na haste principal para avaliar a severidade da

doença. Já com a utilização de uma escala de notas para realizar as avaliações, o progresso genético foi de 31%.

Amaro et al. (2007), utilizando a avaliação da geração $F_{2:3}$ em um programa de seleção recorrente fenotípica após cinco ciclos seletivos, sempre conduzido na safra da “seca” (safra mais favorável à ocorrência de mancha angular), e tendo como padrão de referência do efeito ambiental a cultivar suscetível Carioca MG, estimaram progresso genético de 6,4% por ciclo para resistência à mancha angular. A resposta na produtividade de grãos foi de 8,9% por ciclo. O progresso genético também foi estimado utilizando as sete melhores linhagens (progênes $F_{2:7}$) obtidas nos três primeiros ciclos seletivos e, nesse caso, a estimativa do progresso genético foi de 13,8% para a reação à mancha angular e de 2,1% para a produtividade de grãos.

Após três ciclos de seleção recorrente para produtividade de grãos, Ranalli (1996) estimou o progresso genético pela avaliação de 45 famílias $F_{2:4}$ retiradas aleatoriamente da população de cada ciclo. O ganho com a seleção foi de 55% do ciclo zero para o ciclo um e 25% do ciclo um para o ciclo dois. Após quatro ciclos de seleção recorrente, visando à obtenção de linhagens de grãos tipo carioca e alta produtividade de grãos, Ramalho et al. (2005a), avaliando famílias $F_{2:3}$ e $F_{2:4}$ e recombinando famílias $F_{2:5}$, obtiveram progresso genético de 10,5% para as notas de aspecto de grãos e 5,7% para produtividade de grãos, estimando o progresso genético através da avaliação das cinco melhores linhagens obtidas no final de cada ciclo.

A seleção recorrente também tem sido empregada com sucesso no melhoramento da arquitetura do feijoeiro. Como há associação entre porte das plantas e tamanho da semente, Kelly e Adams (1987) conduziram quatro ciclos de seleção recorrente, com o objetivo de obter plantas do tipo II, de porte ereto e sementes de tamanho, formato e cor do tipo comercial. Nesse caso foi empregada a seleção recorrente fenotípica que permitiu conduzir um ciclo de seleção por ano. O ganho com a seleção foi gradativo, e apenas no terceiro ciclo foram encontradas plantas do tipo II com grãos de tamanho comercial. Esses autores destacaram que foram necessários dois ciclos de seleção recorrente para quebrar os blocos de ligação, permitindo a seleção de indivíduos recombinantes (plantas do tipo II com grãos de tamanho comercial) e que seria improvável que outro método de melhoramento tivesse permitido a quebra desses blocos de ligação.

Na literatura são encontradas estimativas de progresso genético com a seleção recorrente na cultura do feijoeiro para produtividade de grãos variando de 3,3 a 55%

(SINGH et al., 1999; RANALLI, 1996; RAMALHO et al., 2005a; SILVA et al., 2010; MENEZES JÚNIOR, 2011). Quanto ao aspecto de grãos, em feijão carioca foram obtidas estimativas de progresso genético com a seleção recorrente por volta de 10% (RAMALHO et al., 2005a; MENEZES JÚNIOR et al., 2008). Para resistência à ferrugem, Menezes Júnior (2011) obteve progresso genético acima de 33%, e para mancha angular o progresso genético foi de 13,2%, após dois ciclos de seleção recorrente no melhoramento de feijão vermelho. Todos esses resultados comprovam a eficiência da seleção recorrente no melhoramento do feijoeiro.

2.3. Melhoramento do feijão vermelho

Minas Gerais é o segundo Estado maior produtor de feijão do Brasil, tendo produzido na safra 2009/2010 mais de 620 mil toneladas (mais de 18% da produção nacional), em uma área de aproximadamente 420 mil ha, com produtividade próxima a 1480 kg/ha (CONAB, 2012). Segundo Costa (2007), as Regiões Noroeste, Sul, Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba são as principais produtoras do grão no Estado. O plantio nessas regiões é predominantemente comercial, com emprego de altos níveis de tecnologia nas lavouras. Há nessas regiões predomínio do plantio de feijão do tipo carioca.

A região da Zona da Mata mineira contribui com cerca de 10% da produção estadual de feijão, porém, nessa região, há um predomínio de pequenos e médios agricultores, que não utilizam elevado nível tecnológico, na maioria dos casos. Estima-se que 50% das áreas produtoras de feijão da Zona da Mata mineira é ocupadas por lavouras com feijão de grãos vermelhos (COSTA, 2007). Grãos vermelhos brilhantes e uniformes tem ampla aceitação entre os consumidores dessa região e chegam a ser comercializados por até o dobro do preço de feijões com grãos do tipo carioca e preto (CARNEIRO et al., 2005). Assim, o feijão vermelho é um produto de grande importância socioeconômica para a região da Zona da Mata mineira. Além disso, sua importância vem aumentando em outras regiões.

Apesar dessa demanda por feijão vermelho em algumas regiões, como a da Zona da Mata mineira, pouca atenção tem sido dada ao melhoramento de feijão com esse tipo de grão. Os principais programas de melhoramento do feijoeiro no Brasil, como os da Embrapa Arroz e Feijão (Embrapa), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Universidade Federal de Viçosa (UFV), Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado de Minas Gerais (Epamig), Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e

Instituto Agrônomo do Paraná (Iapar) têm dado ênfase a feijões de grãos tipo carioca e preto, por serem os mais consumidos no país.

Pela importância do feijão vermelho, principalmente na Zona da Mata de Minas Gerais, o Programa Feijão da Universidade Federal de Viçosa (UFV), no final da década de 1990, começou a se dedicar também ao melhoramento desse tipo de grão, visando disponibilizar aos produtores cultivares melhoradas, com elevada produtividade, garantindo, assim, a viabilidade da produção de feijão vermelho.

Fruto recente deste trabalho foi a recomendação da cultivar Ouro Vermelho (CARNEIRO et al., 2006), com produtividade 30% superior à do feijão conhecido como Vermelhinho, que até meados da década de 2000 era o feijão vermelho cultivado na região da Zona da Mata de Minas Gerais. O lançamento dessa cultivar proporcionou ganhos expressivos em produtividade e maior oferta de feijão vermelho no mercado, beneficiando, assim, tanto o produtor quanto o consumidor. Hoje praticamente todos os produtores de feijão vermelho da região plantam a cultivar Ouro Vermelho. Alguns ainda cultivam o Vermelhinho, que é um feijão crioulo, comercializado nessa região há vários anos, porém sem recomendação oficial. O Ouro Vermelho é um feijão que apresenta alta capacidade produtiva, em comparação com os demais cultivares do mesmo grupo. Porém, apresenta uma série de problemas, como alta suscetibilidade aos patógenos, principalmente os causadores da antracnose, ferrugem, mancha angular, crestamento bacteriano comum e mosaico comum, o que diminui a produtividade e a qualidade dos grãos colhidos (CARNEIRO et al., 2005; ALZATE-MARIN et al., 2006).

A demanda por feijão vermelho tem sido cada vez maior. Assim, é necessário que sejam obtidas novas cultivares, superiores às já em uso pelos agricultores. Estas novas cultivares, além de mais produtivas, devem apresentar maior espectro de resistência aos patógenos e outros fenótipos desejáveis, como plantas de porte ereto.

A Universidade Federal de Viçosa conta com o Programa de Melhoramento do Feijoeiro do Instituto de Biotecnologia Aplicada à Agropecuária (BIOAGRO/UFV). Nele, Ragagnin et al. (2003) piramidaram genes de resistência à antracnose, ferrugem e mancha angular utilizando como genitor recorrente o cultivar Rudá, que possui o *background* do tipo carioca. A isolinha obtida com essa pirâmide foi denominada Rudá “R”. Posteriormente, Arruda (2005) incrementou a pirâmide de resistência à antracnose do *background* Rudá, substituindo um dos alelos

introduzidos anteriormente e introduzindo outro. Essa nova isolinha foi denominada Rudá “R1”.

Após estes trabalhos, Costa (2007) realizou cruzamentos e ciclos de retrocruzamentos entre o feijão Vermelhinho (genitor recorrente) e Rudá “R”, bem como entre Ouro Vermelho (genitor recorrente) e Rudá “R1”. Nesses cruzamentos, as seleções também foram realizadas por marcadores moleculares ligados aos genes envolvidos e ao padrão de cor dos grãos. Diante dos resultados, concluiu-se que a seleção assistida por marcadores moleculares no processo de obtenção de linhagens com vários genes de resistência é eficiente, que os marcadores moleculares ligados a genes de resistência devem ser altamente específicos para que possam auxiliar no processo de transferência de genes para outros *backgrounds* genéticos e que a transferência de genes entre cultivares de grupos de cor de grão diferentes é demorada, exigindo a realização de maior número de retrocruzamentos para a recuperação do tipo de grão original. Importante resultado deste trabalho foi a obtenção do Ouro Vermelho Piramidado (OVR), que possui genes de resistência para antracnose, mancha angular e ferrugem.

No Programa Feijão, da Universidade Federal de Viçosa, as primeiras linhagens de feijão vermelho foram obtidas por Vieira et al. (2000). O Programa Feijão utiliza como principal estratégia no melhoramento do feijão vermelho a seleção recorrente. Várias linhagens promissoras já foram obtidas no programa de seleção recorrente. A cultivar Ouro Vermelho é fruto do primeiro ciclo (C_0) desse programa. Menezes Júnior (2011) conduziu os dois primeiros ciclos (C_0 e C_1) do programa de seleção recorrente da UFV, e obteve linhagens de feijão vermelho superiores à cultivar Ouro Vermelho, com potencial para serem incluídas em futuros ensaios de VCU no Estado de Minas Gerais. Esse autor concluiu que há possibilidade de se obter sucesso com a seleção nos próximos ciclos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Estratégia de melhoramento utilizada e local de condução dos experimentos

Este estudo trata do melhoramento do feijão vermelho utilizando como estratégia a seleção recorrente. Foram realizados, até então, três ciclos de seleção. A metodologia empregada utilizou a avaliação de famílias conduzidas pelo método do “bulk” dentro de famílias, em que as melhores famílias são selecionadas e recombinadas para a obtenção de um novo ciclo de seleção. Os experimentos foram conduzidos na Estação Experimental de Coimbra, Coimbra – MG (690 m de altitude, 20°45’ S de latitude e 42°51’ W de longitude), pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Os intercruzamentos foram realizados em casa de vegetação, de modo a facilitar a realização dos cruzamentos de forma direcionada, seguindo-se a metodologia proposta por Bearzoti, descrita por Ramalho et al. (2001).

3.2. Obtenção da população base

Este trabalho é uma continuidade do programa de seleção recorrente para o melhoramento de feijão vermelho da Universidade Federal de Viçosa, iniciado em 1999. Para dar início ao programa, a cultivar Vermelhinho, única cultivar de grãos vermelhos disponível para os agricultores na ocasião, foi cruzada com as seguintes linhagens: Aporé, Pérola, IAPAR31, IAPAR81, AN9022180, LR720982CP, AFR19521, AFR19535, AB136 e Vermelho 2157.

Foram realizados cruzamentos simples, duplos e retrocruzamentos com a cultivar Vermelhinho, sendo obtidas 18 populações segregantes, como descrito por Menezes Júnior (2011). Estas populações constituíram a base para o programa de seleção recorrente que vem sendo conduzido na UFV. Os dois primeiros ciclos deste programa foram avaliados por Menezes Júnior (2011).

3.3. Obtenção da população do terceiro ciclo (C_{II})

Após conduzir e avaliar o segundo ciclo (C_I) do programa de seleção recorrente, Menezes Júnior (2011) selecionou 20 famílias para serem recombinadas. Estas famílias foram selecionadas com base em produtividade de grãos, aspecto de grãos, arquitetura de planta, e resistência à ferrugem e à mancha angular. Para todos os caracteres foram detectadas diferenças significativas para a fonte de variação

famílias, apesar de a seleção ter sido realizada somente com base em produtividade de grãos no primeiro ciclo (C_0).

Para a característica arquitetura de planta percebeu-se que a variabilidade disponível não era suficiente para gerar novas populações com potencial para obter plantas de porte ereto, indicando a necessidade de acrescentar no bloco de cruzamentos novos genitores, visando aumentar a variabilidade e permitir a obtenção de linhagens de grãos vermelhos com boa arquitetura de planta. Logo, para obtenção do ciclo dois, novos genitores foram incluídos no bloco de cruzamento.

Além de genitores de porte ereto, foram incluídos genitores que conferem maior resistência aos patógenos do feijoeiro. Inicialmente, foram realizados 20 cruzamentos biparentais entre 20 genitores de porte ereto com o genitor Ouro Vermelho Piramidado (OVR), obtido pelo BIOAGRO/UFV, que possui genes de resistência para antracnose, mancha angular e ferrugem. Cada híbrido resultante destes cruzamentos foi cruzado com uma das 20 famílias do C_I , selecionadas por Menezes Júnior (2011), conforme apresentado na Tabela 1. Os híbridos resultantes destes últimos cruzamentos foram semeados no campo, obtendo-se a geração F_2 , que constituiu a população base do terceiro ciclo (C_{II}) de seleção recorrente.

Tabela 1 - Cruzamentos utilizados na composição da população do terceiro ciclo (C_{II}).

Cruzamento	Genealogia
RVCII433	Horizonte / OVR //// Vermelinho / AB136 // Vermelinho / AFR19521 /// Vermelinho // Vermelinho / IAPAR31
RVCII434	A170 / OVR //// Vermelinho // Vermelinho / AN9022180 /// Vermelinho // Vermelinho / Aporé
RVCII435	CNFC9437 / Rudá R // OVR //// Vermelinho // Vermelinho / Pérola /// Vermelinho / Pérola // Vermelinho / AFR19521
RVCII436	A525 / OVR //// Vermelinho / AN9022180 // Vermelinho / Vermelho2157 /// Vermelinho / IAPAR31 // Vermelinho / AFR19535
RVCII437	VC6 / OVR //// Vermelinho / AB136 // Vermelinho / Vermelho2157 /// Vermelinho // Vermelinho / LR720982CP
RVCII438	Supremo / OVR //// Vermelinho // Vermelinho / IAPAR31 /// Vermelinho // Vermelinho / IAPAR81
RVCII439	CNFC9466 / OVR //// Vermelinho // Vermelinho / Aporé /// Vermelinho / Aporé // Vermelinho / AFR19521
RVCII440	A805 / OVR //// Vermelinho / Pérola // Vermelinho / AFR19521 /// Vermelinho / Pérola // Vermelinho / AB136
RVCII441	UTF0013 / Rudá R // OVR //// Vermelinho / IAPAR31 // Vermelinho / AFR19535 /// Vermelinho / IAPAR31 // Vermelinho / AB136
RVCII442	VP9 / OVR //// Vermelinho // Vermelinho / LR720982CP /// Vermelinho / LR720982 // Vermelinho / AB136
RVCII443	México / Rudá // OVR //// Vermelinho // Vermelinho / IAPAR81 /// Vermelinho / AFR19521 // Vermelinho / Vermelho2157
RVCII444	Rudá R / OVR //// Vermelinho / Aporé // Vermelinho / AFR19521 /// Vermelinho / AB136 // Vermelinho / Vermelho2157
RVCII445	Pérola / Ouro Negro // OVR //// Vermelinho / Pérola // Vermelinho / AB136 /// VR-2
RVCII446	Pérola R / OVR //// Vermelinho / IAPAR31 // Vermelinho / AB136 /// VR-3
RVCII447	Rudá / MAR2 // OVR //// Vermelinho / LR720982 // Vermelinho / AB136 /// BRS Timbó
RVCII448	Rudá R / OVR //// Vermelinho / AFR19521 // Vermelinho / Vermelho2157 /// Vermelinho / AB136 // Vermelinho / AFR19521
RVCII449	Rudá / BAT332 // OVR //// Vermelinho / AB136 // Vermelinho / Vermelho2157 /// Vermelinho // Vermelinho / AN9022180
RVCII450	Rudá R / OVR //// VR-2 /// Vermelinho // Vermelinho / Pérola
RVCII451	CAL143 / OVR //// VR-3 /// Vermelinho / AN9022180 // Vermelinho / Vermelho2157
RVCII452	BJ4 / OVR //// BRS Timbó /// Vermelinho / AB136 // Vermelinho / Vermelho2157

3.4. Avaliação das famílias F_{2:3} e F_{2:4} do terceiro ciclo (C_{II})

As sementes F₁'s resultantes dos 20 cruzamentos (Tabela 1) foram semeadas no campo para obtenção das sementes F₂. Estas foram semeadas no campo, e de cada população foram derivadas 19 famílias F_{2:3}, que foram avaliadas, juntamente com 20 testemunhas, no delineamento em látice simples 20 x 20, e parcelas constituídas de duas linhas de 1,0 m, na safra da seca de 2010. Essas famílias foram avaliadas novamente na geração F_{2:4}, na safra de inverno de 2010, utilizando novamente o delineamento em látice, porém com três repetições e parcelas de duas linhas de 2,0 m. A adubação e os tratos culturais realizados nos experimentos foram de acordo com as recomendações técnicas para a cultura do feijão na região.

As famílias foram avaliadas quanto à produtividade de grãos (kg/ha) e arquitetura de planta nas duas safras. Também foram avaliadas quanto ao aspecto de grãos e resistência à ferrugem, nas safras da seca e inverno de 2010, respectivamente. As avaliações de arquitetura, aspecto de grãos e resistência à ferrugem foram realizadas por meio da atribuição de notas de dois avaliadores.

O aspecto de grãos foi avaliado considerando uma escala de notas variando de 1 a 5, em que nota 1 se refere ao padrão: grãos vermelhos uniformes, com presença de brilho, não achatado, formato elíptico e peso médio de 100 sementes entre 22 e 24 g; nota 2: grãos vermelhos com deficiência em uma das características mencionadas no padrão; nota 3: grãos vermelhos com deficiência em duas das características mencionadas no padrão; nota 4: grãos vermelhos com deficiência em três das características mencionadas no padrão; e nota 5: grãos totalmente fora do padrão. A avaliação da arquitetura de planta também foi realizada por meio de escala de notas, descrita por Collicchio (1995). Essa escala varia de 1 a 5, em que nota 1 se refere à planta de hábito II, ereta, com uma haste e com inserção alta das primeiras vagens, e nota 5 à planta de hábito III, com entrenós longos e muito prostrada.

A resistência à ferrugem foi avaliada por meio de escala de notas de seis graus (STAVELY et al., 1983). Como auxílio na determinação do grau de reação nas observações visuais das pústulas na face superior das folhas, foi utilizado o diagrama de representação gráfica idealizado por Castaño (1985). Na referida escala, nota 1: ausência de pústulas (plantas imunes); nota 2: manchas necróticas sem esporulação; nota 3: pústulas esporulando com diâmetro < 300 µm; nota 4: pústulas esporulando com diâmetro de 300 µm a 499 µm; nota 5: pústulas esporulando com diâmetro de 500 µm a 800 µm; e nota 6: pústulas esporulando com diâmetro > 800 µm.

Os dados foram submetidos à análise de variância. Todos os efeitos foram considerados fixos, exceto o erro. O modelo estatístico utilizado foi o seguinte:

$$Y_{ijl} = m + t_i + b_j + p_{l(j)} + e_{ijl}$$

em que:

Y_{ijl} : valor observado na parcela que recebeu o tratamento i , no bloco l , dentro da repetição j ;

m : média geral do experimento;

t_i : efeito do tratamento i , sendo $i = 1, 2, 3, \dots, n$, sendo n o número de tratamentos;

b_j : efeito da repetição j , sendo $j = 1$ e 2 nas gerações $F_{2:3}$ e $j = 1, 2$ e 3 na geração $F_{2:4}$;

$p_{l(j)}$: efeito do bloco l dentro da repetição j ; e

e_{ijl} : erro experimental associado à observação Y_{ijl} , assumindo que os erros são independentes e normalmente distribuídos, com média zero e variância σ_e^2 .

Posteriormente, foi realizada a análise de variância conjunta das gerações $F_{2:3}$ e $F_{2:4}$, utilizando as médias ajustadas dos tratamentos, de acordo com Ramalho et al. (2005b). O modelo adotado, considerando todos os efeitos como fixos, exceto o erro, foi o seguinte:

$$Y_{ijk} = m + t_i + b_{j(k)} + a_k + (ta)_{ik} + \bar{e}_{ijk}$$

em que:

Y_{ijk} : valor observado na parcela que recebeu o tratamento i , na repetição j , na geração k ;

m : média geral do experimento;

t_i : efeito do tratamento i , sendo $i = 1, 2, 3, \dots, n$, sendo n o número de tratamentos;

$b_{j(k)}$: efeito da repetição j dentro da geração k , sendo $j = \bar{r}$ (média harmônica do número de repetições);

a_k : efeito da geração k , sendo $k = 1$ e 2 ;

$(ta)_{ik}$: efeito da interação entre o tratamento i e a geração k ; e

\bar{e}_{ijk} : erro médio associado à observação Y_{ijk} .

Para todas as análises estatísticas foram utilizados os recursos computacionais do aplicativo computacional GENES (CRUZ, 2006).

3.5. Seleção de famílias para recombinação e extração de linhagens (C_{II})

Com base na análise conjunta das gerações F_{2:3} e F_{2:4} foram selecionadas 20 famílias F_{2:5} para serem recombinadas, sendo uma de cada população, para garantir que todos os genitores estivessem representados em igual proporção. Estas serão intercruzadas para a obtenção do quarto ciclo (C_{III}), de acordo com a metodologia proposta por Bearzoti, descrita por Ramalho et al. (2001). A seleção das famílias para recombinação foi baseada principalmente na produtividade de grãos. Entretanto, os demais caracteres também foram levados em consideração, procurando-se associar o maior número de caracteres favoráveis nas famílias selecionadas.

Entre as 380 famílias avaliadas, foram também selecionadas as 20 superiores, desconsiderando a qual população estas pertenciam, para que delas fossem derivadas linhagens. A seleção das famílias para extração de linhagens se baseou em uma seleção truncada: produtividade média acima da média geral e notas de aspecto de grãos e resistência à ferrugem abaixo de 2. Foram desprezadas as notas de arquitetura de planta, uma vez que todas as famílias deixaram a desejar quanto a este atributo, apesar de haver variabilidade na população. As sementes F_{2:5} das famílias selecionadas foram semeadas na safra da seca de 2011. Levando-se em conta o aspecto de grãos, foram derivadas oito linhagens por família.

3.6. Avaliação das linhagens derivadas do C_{II} e do progresso genético

As 160 linhagens do terceiro ciclo (C_{II}) e cinco testemunhas foram avaliadas juntamente com as 30 linhagens selecionadas em cada um dos ciclos anteriores (C₀ e C_I), utilizando o delineamento em látice simples 15 x 15 e parcelas constituídas de duas linhas de 1,0 m, na safra de inverno de 2011. Além da produtividade de grãos,

as linhagens foram avaliadas quanto ao aspecto de grãos, arquitetura de planta, e resistência à ferrugem. As escalas para avaliação do aspecto de grãos, da resistência à ferrugem e da arquitetura de plantas foram as mesmas já descritas anteriormente.

Os dados foram submetidos à análise de variância, de acordo com Ramalho et al. (2005b), considerando todos os efeitos como fixos, exceto o erro (CRUZ et al., 2004). O modelo estatístico foi o mesmo utilizado para as análises individuais das famílias $F_{2:3}$ e $F_{2:4}$ do ciclo dois. Como os tratamentos constituíam-se de 220 linhagens e cinco testemunhas, esta fonte de variação foi decomposta em linhagens, testemunhas e no contraste linhagens vs. testemunhas. A fonte de variação linhagens também foi decomposta, para verificar se havia diferenças significativas entre as linhagens de um mesmo ciclo. As médias das linhagens foram comparadas com a média da cultivar Ouro Vermelho, pelo teste de Dunnett a 1% de probabilidade.

Com base nos dados médios das 160 linhagens do ciclo dois, realizou-se uma seleção das 30 linhagens superiores, utilizando-se o índice da distância genótipo-ideótipo (CRUZ, 2006). O índice da distância genótipo-ideótipo fixa um valor ótimo para cada característica, criando, assim, um ideótipo. Obtém-se a diferença entre a média de cada característica e o valor atribuído ao ideótipo, e finalmente, calcula-se, para cada genótipo, uma distância em relação a esse ideótipo, sendo essa distância o próprio índice.

Para a utilização do índice da distância genótipo-ideótipo, foram estabelecidos os pesos econômicos para as quatro características avaliadas, definindo-se, posteriormente, os valores ótimos de cada variável, bem como o intervalo dos valores considerados favoráveis para o melhoramento, como descrito na Tabela 2.

Com base neste índice foram identificadas as melhores linhagens do C_{II} , conforme descrito por Cruz (2006).

Tabela 2 - Peso econômico, valor ótimo, e limites inferior e superior no estabelecimento do índice genótipo-ideótipo para seleção das 30 linhagens do ciclo dois.

Variável	Peso	Ótimo	Limite inferior	Limite superior
Produtividade	2	6507,14	4752,18	6507,14
Ferrugem	1	1,00	1,00	3,00
Arquitetura	2	2,75	2,75	3,00
Aspecto de Grãos	2	1,50	1,50	3,00

Por meio da comparação dos valores médios das 30 linhagens de cada ciclo, avaliadas na safra de inverno de 2011, foi possível calcular o progresso genético (PG) com a seleção recorrente, utilizando-se os estimadores:

- PG entre o ciclo zero e o ciclo um:

$$PG(\%) = \left(\frac{\bar{X}_{C_1} - \bar{X}_{C_0}}{\bar{X}_{C_0}} \right) \times 100$$

em que:

\bar{X}_{C_1} : média das 30 linhagens do ciclo um; e

\bar{X}_{C_0} : média das 30 linhagens do ciclo zero.

- PG entre o ciclo um e o ciclo dois:

$$PG(\%) = \left(\frac{\bar{X}_{C_2} - \bar{X}_{C_1}}{\bar{X}_{C_1}} \right) \times 100$$

em que:

\bar{X}_{C_2} : média das 30 linhagens do ciclo dois; e

\bar{X}_{C_1} : média das 30 linhagens do ciclo um.

- PG entre o ciclo zero e o ciclo dois:

$$PG(\%) = \left(\frac{\bar{X}_{C_2} - \bar{X}_{C_0}}{\bar{X}_{C_0}} \right) \times 100$$

em que:

\bar{X}_{C_2} : média das 30 linhagens do ciclo dois; e

\bar{X}_{C_0} : média das 30 linhagens do ciclo zero.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Avaliação e seleção das famílias do C_{II}

Observou-se significância para a fonte de variação famílias para todos os caracteres avaliados, tanto nas análises individuais quanto nas conjuntas, evidenciando ampla variabilidade genética na população (Tabelas 3, 4 e 5). A existência de variabilidade é fundamental para que se continue obtendo ganhos com a seleção. A interação famílias x ambientes foi significativa para produtividade, mostrando comportamento diferencial dos genótipos diante das variações ambientais.

Ao desdobrar a fonte de variação famílias, observou-se diferença significativa, em alguns casos, para as características produtividade de grãos, arquitetura de planta e aspecto de grãos, tanto nas análises individuais quanto nas conjuntas. Já para a variável resistência à ferrugem a fonte de variação famílias dentro de cada população foi significativa em todos os casos (Tabela 4). Esses resultados indicaram que há variabilidade genética entre as famílias dentro de cada população, para pelo menos uma das características avaliadas. A interação famílias x ambientes foi não significativa para a variável arquitetura de planta; para produtividade, isso não ocorreu. Ao desdobrar a fonte de variação famílias x ambientes, na maioria dos casos não se observou diferença significativa para a variável produtividade de grãos (Tabela 5). Diante desses resultados, a seleção foi feita com base na média das duas safras.

Tabela 3 - Resumo das análises de variância individuais da produtividade de grãos (PROD), em kg/ha, e notas de aspecto de grãos (AG) e arquitetura de planta (ARQ), referentes às famílias F_{2,3} avaliadas na safra da seca de 2010. Coimbra – MG.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio (QM) ¹		
		PROD	AG	ARQ
Tratamento	399	418143,236 ^{**}	0,916 ^{**}	0,214 ^{**}
Famílias	379	393014,361 ^{**}	0,459 ^{**}	0,134 ^{**}
Pop. 1	18	240143,092 ^{**}	0,208 [*]	0,201 ^{**}
Pop. 2	18	97012,214 ^{ns}	0,360 ^{**}	0,102 ^{ns}
Pop. 3	18	142233,452 ^{ns}	0,156 ^{ns}	0,192 ^{**}
Pop. 4	18	518900,052 ^{**}	0,894 ^{**}	0,076 ^{ns}
Pop. 5	18	492457,710 ^{**}	0,605 ^{**}	0,142 ^{ns}
Pop. 6	18	140980,554 ^{ns}	0,297 ^{**}	0,088 ^{ns}
Pop. 7	18	163182,117 ^{ns}	0,098 ^{ns}	0,082 ^{ns}
Pop. 8	18	196486,108 [*]	0,200 [*]	0,165 [*]
Pop. 9	18	312212,136 ^{**}	0,133 ^{ns}	0,062 ^{ns}
Pop. 10	18	270835,611 ^{**}	0,431 ^{**}	0,020 ^{ns}
Pop. 11	18	344861,998 ^{**}	0,664 ^{**}	0,439 ^{**}
Pop. 12	18	228258,756 [*]	0,164 ^{ns}	0,128 ^{ns}
Pop. 13	18	150197,682 ^{ns}	0,420 ^{**}	0,069 ^{ns}
Pop. 14	18	327454,467 ^{**}	0,295 ^{**}	0,207 ^{**}
Pop. 15	18	429446,939 ^{**}	0,448 ^{**}	0,045 ^{ns}
Pop. 16	18	264903,255 ^{**}	0,164 ^{ns}	0,072 ^{ns}
Pop. 17	18	130975,194 ^{ns}	0,861 ^{**}	0,039 ^{ns}
Pop. 18	18	128108,902 ^{ns}	0,494 ^{**}	0,042 ^{ns}
Pop. 19	18	339616,905 ^{**}	0,323 ^{**}	0,128 ^{ns}
Pop. 20	18	255541,473 ^{**}	0,300 ^{**}	0,042 ^{ns}
Entre Populações	19	2938099,351 ^{**}	2,025 ^{**}	0,460 ^{**}
Testemunhas	19	442680,128 ^{**}	2,385 ^{**}	1,163 ^{**}
Famílias vs. Testemunhas	1	9475785,735 ^{**}	146,257 ^{**}	12,302 ^{**}
Erro efetivo	361 (398) ²	117477,325	0,120	0,093
Média geral		2554	2,6	3,4
Média das Famílias		2579	2,5	3,5
Ouro Vermelho ³		2563	2,0	3,8
CV (%)		13,42	13,59	8,87

¹ ns; **; * não significativo e significativo pelo teste F a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

² Valor entre parênteses refere-se ao número de GL do erro das características AG e ARQ, analisadas em DBC.

³ Testemunha.

Tabela 4 - Resumo das análises de variância individuais da produtividade de grãos (PROD), em kg/ha, e notas de resistência à ferrugem (FE) e arquitetura de planta (ARQ), referentes às famílias F_{2:4} avaliadas na safra do inverno de 2010. Coimbra – MG.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio (QM) ¹		
		PROD	FE	ARQ
Tratamento	399	720298,805 ^{**}	4,713 ^{**}	0,430 ^{**}
Famílias	379	708687,020 ^{**}	4,733 ^{**}	0,320 ^{**}
Pop. 1	18	461660,477 ^{ns}	2,026 ^{**}	0,221 ^{ns}
Pop. 2	18	428524,548 ^{ns}	4,987 ^{**}	0,274 [*]
Pop. 3	18	410936,510 ^{ns}	3,338 ^{**}	0,290 [*]
Pop. 4	18	395910,026 ^{ns}	1,715 ^{**}	0,167 ^{ns}
Pop. 5	18	287075,255 ^{ns}	3,768 ^{**}	0,114 ^{ns}
Pop. 6	18	425174,860 ^{ns}	2,772 ^{**}	0,207 ^{ns}
Pop. 7	18	407041,392 ^{ns}	3,408 ^{**}	0,212 ^{ns}
Pop. 8	18	403591,675 ^{ns}	6,289 ^{**}	0,142 ^{ns}
Pop. 9	18	512964,969 ^{ns}	4,689 ^{**}	0,308 ^{**}
Pop. 10	18	455270,547 ^{ns}	1,526 ^{**}	0,190 ^{ns}
Pop. 11	18	688319,711 ^{**}	4,320 ^{**}	0,576 ^{**}
Pop. 12	18	462253,789 ^{ns}	2,105 ^{**}	0,109 ^{ns}
Pop. 13	18	691524,699 ^{**}	5,965 ^{**}	0,176 ^{ns}
Pop. 14	18	700094,874 ^{**}	3,105 ^{**}	0,461 ^{**}
Pop. 15	18	506624,887 ^{ns}	2,539 ^{**}	0,133 ^{ns}
Pop. 16	18	552332,802 [*]	3,158 ^{**}	0,181 ^{ns}
Pop. 17	18	582579,086 [*]	2,083 ^{**}	0,207 ^{ns}
Pop. 18	18	634748,372 [*]	3,004 ^{**}	0,181 ^{ns}
Pop. 19	18	758736,213 ^{**}	3,408 ^{**}	0,263 [*]
Pop. 20	18	625173,954 [*]	3,018 ^{**}	0,191 ^{ns}
Entre populações	19	4292772,882 ^{**}	30,729 ^{**}	2,022 ^{**}
Testemunhas	19	943337,027 ^{**}	3,938 ^{**}	1,347 ^{**}
Famílias vs. Testemunhas	1	883439,295 ^{ns}	11,795 ^{**}	24,703 ^{**}
Erro efetivo	741 (797) ²	328310,127	0,321	0,149
Média geral		3395	2,8	3,7
Média das Famílias		3389	2,8	3,7
Ouro Vermelho ³		3066	4,5	3,3
CV (%)		16,88	20,64	10,54

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

² Valor entre parênteses refere-se ao número de GL do erro das características AG e ARQ, analisadas em DBC.

³ Testemunha.

Tabela 5 - Resumo das análises de variância conjuntas da produtividade de grãos (kg/ha) e notas de arquitetura de planta, referentes às famílias avaliadas nas safras da seca e inverno de 2010. Coimbra – MG.

Fontes de Variação	Produtividade (kg/ha)		Arquitetura de planta	
	GL	QM ¹	GL	QM ¹
Ambientes (A)	1	141472179,451 ^{**}	1	9,656 ^{**}
Tratamentos	399	293427,626 ^{**}	399	0,194 ^{**}
Famílias (F)	379	284552,315 ^{**}	379	0,117 ^{**}
Pop. 1	18	177074,939 [*]	18	0,123 ^{**}
Pop. 2	18	120706,073 ^{ns}	18	0,083 [*]
Pop. 3	18	128430,778 ^{ns}	18	0,139 ^{**}
Pop. 4	18	161308,360 [*]	18	0,047 ^{ns}
Pop. 5	18	165360,243 [*]	18	0,070 ^{ns}
Pop. 6	18	92269,526 ^{ns}	18	0,063 ^{ns}
Pop. 7	18	130098,020 ^{ns}	18	0,046 ^{ns}
Pop. 8	18	136668,222 ^{ns}	18	0,064 ^{ns}
Pop. 9	18	196152,345 ^{**}	18	0,094 [*]
Pop. 10	18	156197,971 [*]	18	0,039 ^{ns}
Pop. 11	18	266837,015 ^{**}	18	0,332 ^{**}
Pop. 12	18	97448,772 ^{ns}	18	0,070 ^{ns}
Pop. 13	18	166888,050 [*]	18	0,072 ^{ns}
Pop. 14	18	223434,050 ^{**}	18	0,180 ^{**}
Pop. 15	18	192108,193 ^{**}	18	0,048 ^{ns}
Pop. 16	18	99931,994 ^{ns}	18	0,052 ^{ns}
Pop. 17	18	140426,249 ^{ns}	18	0,046 ^{ns}
Pop. 18	18	122058,292 ^{ns}	18	0,038 ^{ns}
Pop. 19	18	259495,310 ^{**}	18	0,121 ^{**}
Pop. 20	18	232196,325 ^{**}	18	0,045 ^{ns}
Entre populações	19	2582826,024 ^{**}	19	0,654 ^{**}
Testemunhas (T)	19	415579,025 ^{**}	19	0,982 ^{**}
F vs. T	1	1336293,774 ^{ns}	1	14,372 ^{**}
Tratamentos x Ambientes	399	155723,318 ^{**}	399	0,057 ^{ns}
F x A	379	148169,417 ^{**}	379	0,057 ^{ns}
Pop. 1 x A	18	96701,833 ^{ns}	18	0,052 ^{ns}
Pop. 2 x A	18	70705,769 ^{ns}	18	0,059 ^{ns}
Pop. 3 x A	18	79639,503 ^{ns}	18	0,054 ^{ns}
Pop. 4 x A	18	230181,833 ^{**}	18	0,047 ^{ns}
Pop. 5 x A	18	176451,401 [*]	18	0,039 ^{ns}
Pop. 6 x A	18	119965,860 ^{ns}	18	0,050 ^{ns}
Pop. 7 x A	18	87189,880 ^{ns}	18	0,066 ^{ns}
Pop. 8 x A	18	96156,573 ^{ns}	18	0,065 ^{ns}
Pop. 9 x A	18	130947,199 ^{ns}	18	0,039 ^{ns}
Pop. 10 x A	18	130988,310 ^{ns}	18	0,035 ^{ns}
Pop. 11 x A	18	135153,213 ^{ns}	18	0,079 ^{ns}
Pop. 12 x A	18	170656,216 [*]	18	0,030 ^{ns}
Pop. 13 x A	18	138668,015 ^{ns}	18	0,021 ^{ns}
Pop. 14 x A	18	173824,336 [*]	18	0,076 ^{ns}
Pop. 15 x A	18	191427,12 ^{**}	18	0,019 ^{ns}
Pop. 16 x A	18	216614,725 ^{**}	18	0,045 ^{ns}

continua...

Tabela 5 - Cont.

Pop. 17 x A	18	119194,722 ^{ns}	18	0,043 ^{ns}
Pop. 18 x A	18	153558,170 [*]	18	0,043 ^{ns}
Pop. 19 x A	18	163171,550 [*]	18	0,031 ^{ns}
Pop. 20 x A	18	104048,629 ^{ns}	18	0,040 ^{ns}
Entre populações x A	19	316936,931 ^{**}	19	0,250 ^{**}
T x A	19	120041,436 ^{ns}	19	0,049 ^{ns}
(F vs. T) x A	1	3696607,611 ^{**}	1	0,080 ^{ns}
Erro Médio	1102	92872,386	1195	0,050
Média geral		2975		3,6
Média das famílias		2984		3,6
Ouro Vermelho ²		2815		3,5
CV (%)		13,27		6,70

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

² Testemunha.

Visando à recombinação para formação da população do próximo ciclo, foi feita a seleção da melhor família de cada população, para garantir que todos os genitores estivessem igualmente representados. A seleção das famílias para recombinação baseou-se, principalmente, na produtividade de grãos. Entretanto, os demais caracteres também foram levados em consideração, procurando-se associar o maior número de caracteres favoráveis nas famílias selecionadas. Para a característica produtividade de grãos, 10 das 20 famílias selecionadas foram superiores à testemunha Ouro Vermelho (Tabela 6). Para arquitetura de planta e aspecto de grãos, todas as famílias selecionadas foram iguais ou melhores que a testemunha. Para resistência à ferrugem, 18 famílias foram superiores à cultivar Ouro Vermelho, considerada suscetível. Dessas, 17 tiveram notas iguais ou inferiores a 2, sendo consideradas resistentes.

Tabela 6 - Médias de produtividade de grãos (PROD), em kg/ha, e notas de aspecto de grãos (AG), arquitetura de planta (ARQ) e resistência à ferrugem (FE) das 20 famílias F_{2,5} do C_{II} selecionadas para recombinação. Seca e inverno de 2010. Coimbra – MG.

Cruzamento	Família	PROD	ARQ	AG	FE
433	433RVCII-02	3341 *	1,8	3,7	2,0
434	434RVCII-31	3488	3,7 *	2,0 *	1,5
435	435RVCII-42	3636	3,4 *	2,0 *	2,0
436	436RVCII-68	3104 *	3,7 *	2,5 *	1,0
437	437RVCII-77	2844 *	3,6 *	2,3 *	4,5 *
438	438RVCII-96	2868 *	3,5 *	2,5 *	2,0
439	439RVCII-115	3161 *	3,8 *	2,0 *	3,0
440	440RVCII-151	3525	3,2 *	1,8 *	1,0
441	441RVCII-168	3529	3,3 *	2,5 *	1,0
442	442RVCII-177	3253 *	3,3 *	1,8 *	4,5 *
443	443RVCII-202	3736	2,3	3,3	1,5
444	444RVCII-210	3285 *	3,2 *	2,5 *	1,0
445	445RVCII-243	3542	3,4 *	1,8 *	1,5
446	446RVCII-262	3903	2,9	3,3	2,0
447	447RVCII-283	2940 *	3,5 *	2,3 *	1,5
448	448RVCII-297	3590	3,6 *	1,8 *	1,5
449	449RVCII-308	3388	3,6 *	1,8 *	1,5
450	450RVCII-341	3483	3,8 *	1,8 *	1,5
451	451RVCII-345	2609 *	3,7 *	2,0 *	2,0
452	452RVCII-378	3223 *	3,7 *	2,3 *	1,5
Ouro Vermelho		2815 *	3,5 *	2,0 *	4,5 *
Média das selecionadas		3322	3,3	2,3	1,9
Média geral		2975	3,6	2,6	2,8

Médias seguidas por * na coluna não diferem estatisticamente da testemunha Ouro Vermelho, pelo teste de Dunnett a 1% de probabilidade.

Entre as 380 famílias avaliadas, foram também selecionadas as 20 superiores, desconsiderando a qual população estas pertenciam, para que destas fossem derivadas linhagens. A seleção das famílias para extração de linhagens baseou-se em seleção truncada: produtividade média acima da média geral e notas de aspecto de grãos e resistência à ferrugem abaixo de 2. Foram desprezadas as notas de arquitetura de planta, uma vez que todas as famílias deixaram a desejar quanto a este atributo, apesar de terem sido utilizados genitores de porte ereto na obtenção das populações e de haver variabilidade na população para essa característica.

As famílias selecionadas para extração de linhagens contemplaram somente oito das 20 populações segregantes, sendo somente um dos cruzamentos responsável por cinco das 20 famílias selecionadas (Tabela 7). A média de produtividade das famílias selecionadas foi superior à média da cultivar Ouro Vermelho, demonstrando o potencial destas para extração de linhagens.

Tabela 7 - Médias de produtividade de grãos (PROD), em kg/ha, e notas de aspecto de grãos (AG), arquitetura de planta (ARQ) e resistência à ferrugem (FE) das 20 famílias F_{2,5} do C_{II} selecionadas para extração de linhagens. Seca e inverno de 2010. Coimbra – MG.

Cruzamento	Família	PROD	ARQ	AG	FE
440	440RVCII-150	3803	3,3 *	1,8 *	1,5
440	440RVCII-134	3725	3,6 *	1,5 *	1,5
435	435RVCII-42	3636	3,4 *	2,0 *	2,0
448	448RVCII-297	3590	3,6 *	1,8 *	1,5
445	445RVCII-243	3542	3,4 *	1,8 *	1,5
440	440RVCII-139	3535	3,3 *	1,8 *	1,0
440	440RVCII-151	3525	3,2 *	1,8 *	1,0
434	434RVCII-31	3488	3,3 *	2,0 *	1,5
450	450RVCII-341	3483	3,8 *	1,8 *	1,5
440	440RVCII-149	3464	3,5 *	1,8 *	1,5
449	449RVCII-308	3388	3,6 *	1,8 *	1,5
433	433RVCII-02	3341 *	3,7 *	1,8 *	2,0
435	435RVCII-48	3317 *	3,4 *	2,0 *	2,0
434	434RVCII-29	3310 *	3,6 *	2,0 *	1,5
433	433RVCII-05	3270 *	4,0	1,5 *	1,0
450	450RVCII-325	3262 *	3,4 *	2,0 *	1,5
435	435RVCII-41	3257 *	3,8 *	2,0 *	2,0
450	450RVCII-342	3251 *	3,8 *	1,8 *	2,0
449	449RVCII-315	3223 *	3,7 *	2,0 *	1,5
445	445RVCII-244	3221 *	3,7 *	2,0 *	1,0
Ouro Vermelho		2815 *	3,5 *	2,0 *	4,5 *
Média das selecionadas		3432	3,5	1,8	1,5
Média geral		2975	3,6	2,6	2,8

Médias seguidas por * na coluna não diferem estatisticamente da testemunha Ouro Vermelho, pelo teste de Dunnett a 1% de probabilidade.

Estatisticamente, pelo teste de Dunnett a 1% de probabilidade, 11 famílias foram mais produtivas que a cultivar Ouro Vermelho. Sete delas tiveram média de produtividade superior a 3500 kg/ha. Pode-se observar que as famílias selecionadas também apresentaram grande potencial quanto a outros caracteres de interesse. Para aspecto de grãos, por exemplo, as notas variaram de 1,5 a 2,0, estatisticamente iguais à nota da cultivar Ouro Vermelho, considerada padrão em termos de aspecto de grãos. Na média, a nota das famílias selecionadas foi 1,8. Para resistência à ferrugem, todas as famílias selecionadas foram estatisticamente superiores à cultivar Ouro Vermelho. A nota média das famílias selecionadas (1,5) foi muito inferior à da cultivar Ouro Vermelho (4,5), e quatro delas apresentaram notas iguais a 1,0, portanto imunes à ferrugem. Isso já era esperado, uma vez que foram incluídos nos cruzamentos fontes de resistência a essa doença. Com relação à arquitetura de planta, todas as famílias deixaram a desejar, uma vez que as notas para esta característica foram iguais ou superiores às da cultivar Ouro Vermelho.

4.2. Avaliação simultânea das linhagens dos três ciclos (C_0 , C_I e C_{II})

As 160 linhagens do C_{II} foram avaliadas juntamente com as 30 linhagens pertencentes a cada ciclo anterior e cinco testemunhas, em um látice simples, 15 x 15. Como a eficiência do látice foi baixa, os dados foram analisados através do delineamento em blocos ao acaso. Observou-se significância para a fonte de variação linhagens para todos os caracteres avaliados, evidenciando ampla variabilidade genética (Tabela 8). Ao se desdobrar a fonte de variação linhagens, observou-se diferença significativa, em todos os casos, para as características produtividade de grãos, resistência à ferrugem e aspecto de grãos. Para arquitetura de planta, isso não ocorreu para nenhum dos casos. Houve significância para a fonte de variação entre ciclos para todas as características avaliadas, o que permite concluir que pelo menos um contraste entre médias de diferentes ciclos é diferente de zero. Isso será mostrado nos cálculos do progresso genético.

Para todos os caracteres, obteve-se precisão experimental de média a boa (MATOS et al., 2007). Essa precisão experimental foi evidenciada pelas estimativas dos coeficientes de variação (CV) que, na maioria dos casos, foram inferiores a 20% (Tabelas 8). Para produtividade de grãos, o CV foi igual a 15,65%, que é um valor que está de acordo com os relatados para a cultura do feijoeiro (MARQUES JÚNIOR, 1997). Torga et al. (2010) encontraram CVs variando de 15,84% a 33,73%, para esta característica. Valores de CV semelhantes aos obtidos no referido experimento foram encontrados por Menezes Júnior (2011), para todos os caracteres avaliados, nos dois primeiros ciclos desse programa.

Tabela 8 - Resumo das análises de variância da produtividade de grãos (PROD), em kg/ha, e notas de aspecto de grãos (AG), arquitetura de planta (ARQ) e resistência à ferrugem (FE), referentes às linhagens de três ciclos de seleção recorrente, avaliadas na safra de inverno de 2011. Coimbra – MG.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio (QM) ¹			
		PROD	FE	ARQ	AG
Tratamento	224	1305858,654 ^{**}	1,297 ^{**}	0,124 ^{**}	0,486 ^{**}
Linhagens (L)	219	1298603,294 ^{**}	1,212 ^{**}	0,117 ^{**}	0,465 ^{**}
C ₀	29	1268924,409 ^{**}	2,239 ^{**}	0,051 ^{ns}	0,299 ^{**}
C _I	29	844276,571 [*]	1,515 ^{**}	0,075 ^{ns}	0,360 ^{**}
C _{II}	159	1106644,696 ^{**}	0,226 ^{**}	0,106 ^{ns}	0,511 ^{**}
Entre Ciclos	2	23577393,182 ^{**}	60,371 ^{**}	2,586 ^{**}	0,682 ^{**}
Testemunhas (T)	4	991509,282 ^{ns}	3,250 ^{**}	0,525 ^{**}	1,413 ^{**}
L vs. T	1	4152179,995 ^{**}	11,978 ^{**}	0,040 ^{ns}	1,547 ^{**}
Erro	224	507047,348	0,120	0,079	0,121
Média geral		4549	1,4	3,5	2,8
Média C ₀		3851	2,5	3,7	2,8
Média C _I		4267	1,9	3,6	2,6
Média C _{II}		4752	1,1	3,4	2,8
Ouro Vermelho ²		3107	4,0	4,0	2,8
CV (%)		15,65	24,47	8,08	12,60
Eficiência do Látice ³		104,92	108,84	102,98	100,98

¹ ns ; ** ; * não significativo e significativo pelo teste F a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

² Testemunha.

³ Os resultados referem-se às análises em DBC, devido à baixa eficiência do látice.

Na Tabela 9 são apresentadas as médias referentes à produtividade de grãos, arquitetura de planta, resistência à ferrugem e aspecto de grãos das 30 linhagens do C_{II} selecionadas com base no índice genótipo-ideótipo. Estas foram utilizadas para representar o C_{II} na estimativa do progresso genético.

As linhagens selecionadas para representar o ciclo dois mostram-se promissoras, com médias de produtividade superiores à média da cultivar Ouro Vermelho (Tabela 9). Todas as linhagens selecionadas apresentaram média de produtividade acima de 4400 kg/ha, enquanto a cultivar Ouro Vermelho produziu 3107 kg/ha. Das 30 linhagens selecionadas, 22 apresentaram média de produtividade superior a 5000 kg/ha. As linhagens selecionadas também apresentam grande potencial quanto aos outros caracteres de interesse. Para aspecto de grãos, todas as linhagens selecionadas tiveram notas estatisticamente iguais à da testemunha Ouro Vermelho. Destaca-se³ que a cultivar Ouro Vermelho é considerada padrão em termos de aspecto de grãos.

Tabela 9 - Médias de produtividade de grãos (PROD), em kg/ha, e notas de resistência à ferrugem (FE), arquitetura de plantas (ARQ) e aspecto de grãos (AG) das 30 linhagens superiores do C_{II}, classificadas segundo o índice genótipo-ideótipo. Inverno de 2011. Coimbra – MG.

Classificação	Linhagem	PROD	FE	ARQ	AG
1	RVCII-134	5893	1,0	2,8	2,0 *
2	RVCII-132	5314	1,0	3,0	2,3 *
3	RVCII-130	5393	1,0	2,8	2,5 *
4	RVCII-56	6021	1,0	3,3 *	2,3 *
5	RVCII-148	6507	1,5	3,3 *	2,3 *
6	RVCII-22	5050 *	1,0	3,0	2,5 *
7	RVCII-103	5971	1,0	3,3 *	2,5 *
8	RVCII-17	5350	1,0	3,3 *	2,3 *
9	RVCII-52	5350	1,0	3,3 *	2,3 *
10	RVCII-116	4885 *	1,0	3,0	2,5 *
11	RVCII-108	5593	1,5	3,0	2,8 *
12	RVCII-50	4964 *	1,0	3,3 *	2,0 *
13	RVCII-70	5836	1,0	3,0	3,0 *
14	RVCII-36	5379	1,0	3,3 *	2,5 *
15	RVCII-147	6093	1,0	3,3 *	2,8 *
16	RVCII-151	5886	1,0	3,5 *	1,8 *
17	RVCII-82	5629	1,0	3,5 *	2,0 *
18	RVCII-08	4929 *	1,0	3,3 *	2,5 *
19	RVCII-85	5286	1,0	3,3 *	2,8 *
20	RVCII-143	5107 *	1,0	3,0	3,0 *
21	RVCII-118	4779 *	1,0	3,3 *	2,5 *
22	RVCII-98	5164 *	1,0	3,3 *	2,8 *
23	RVCII-57	5579	1,0	3,5 *	2,3 *
24	RVCII-91	4721 *	1,0	3,3 *	2,5 *
25	RVCII-58	4464 *	1,0	3,3 *	2,3 *
26	RVCII-42	5714	1,0	3,3 *	3,0 *
27	RVCII-152	6007	1,0	3,5 *	2,5 *
28	RVCII-27	5371	1,0	3,5 *	2,3 *
29	RVCII-66	4621 *	1,0	3,3 *	2,5 *
30	RVCII-96	4936 *	1,0	3,3 *	2,8 *
Ouro Vermelho (Testemunha)		3107 *	4,0 *	4,0 *	2,8 *
Média das selecionadas		5393	1,0	3,2	2,5
Média C _{II}		4752	1,1	3,4	2,8

Médias seguidas por * na coluna não diferem estatisticamente da testemunha Ouro Vermelho, pelo teste de Dunnett a 1% de probabilidade.

Com relação à ferrugem, todas as linhagens selecionadas do C_{II} foram resistentes, apresentando notas de, no máximo, 1,5. Isso demonstra que a inclusão do genitor Ouro Vermelho Piramidado (OVR), que possui genes de resistência a essa

doença, durante a recombinação para dar início ao C_{II} foi eficiente. Geraldi (1997) apontou que uma das principais vantagens da seleção recorrente é a facilidade para incorporação de germoplasma exótico na população, durante a recombinação.

Quanto à arquitetura de planta, oito das 30 linhagens selecionadas apresentaram notas inferiores à nota da testemunha Ouro Vermelho, sendo, portanto, superiores a essa cultivar, para essa característica. Deve ser dada atenção às três primeiras linhagens do ciclo dois, classificadas pelo índice genótipo-ideótipo (Tabela 9), uma vez que estas, além de apresentarem produtividade média superior a 5300 kg/ha, foram imunes à ferrugem, apresentaram arquitetura de planta melhor que a cultivar Ouro Vermelho e aspecto de grãos igual ao da testemunha citada.

Utilizando o índice genótipo-ideótipo para classificar e selecionar as linhagens superiores de todo o programa de seleção recorrente, tem-se que as linhagens do C₀ não figuram entre as 30 superiores (Tabela 10). Quando se consideram as 30 e as 20 linhagens superiores, somente uma pertence ao C_I. Reduzindo ainda mais o número de linhagens selecionadas (10 e 5), a vantagem das linhagens do C_{II} torna-se ainda mais evidente. Esses resultados mostram a superioridade das linhagens do C_{II} em relação às linhagens dos outros ciclos, evidenciando a eficiência da seleção recorrente no melhoramento do feijoeiro.

Tabela 10 - Representabilidade de cada ciclo entre as linhagens superiores do programa de seleção recorrente e médias de produtividade de grãos (PROD), em kg/ha, e notas de resistência à ferrugem (FE), arquitetura de plantas (ARQ) e aspecto de grãos (AG) das linhagens superiores, classificadas segundo o índice genótipo-ideótipo. Inverno de 2011. Coimbra – MG.

Nº de classificadas	Nº de linhagens por ciclo			
	C ₀	C _I	C _{II}	
30 superiores (30+)	0	1	29	
20 superiores (20+)	0	1	19	
10 superiores (10+)	0	0	10	
5 superiores (5+)	0	0	5	
3 superiores (3+)	0	0	3	
	PROD	FE	ARQ	AG
Média das superiores (30+)	5360	1,0	3,2	2,4
Média das superiores (20+)	5524	1,1	3,2	2,3
Média das superiores (10+)	5581	1,1	3,1	2,3
Média das superiores (5+)	5826	1,1	3,0	2,3
Média das superiores (3+)	5533	1,0	2,8	2,3
Ouro Vermelho (Testemunha)	3107	4,0	4,0	2,8
Média geral	4549	1,4	3,5	2,8

4.3. Progresso genético de três ciclos de seleção

Para a avaliação do progresso genético, adotou-se o procedimento de comparação entre as melhores linhagens identificadas nos diferentes ciclos que, em princípio, é superior aos demais procedimentos (RAMALHO et al., 2005a; MENEZES JÚNIOR, 2011). Para a avaliação do progresso genético, foram comparadas as médias das 30 linhagens superiores de cada ciclo de seleção. As linhagens do ciclo dois foram selecionadas através do índice genótipo-ideótipo. As linhagens dos ciclos zero e um foram selecionadas por Menezes Júnior (2011).

Os valores de progresso genético do C_0 para C_1 foram próximos aos obtidos por Menezes Júnior (2011), que comparou esses dois ciclos. Para produtividade de grãos, o progresso genético entre esses dois ciclos, neste trabalho, foi de 10,81% (Tabela 11), enquanto o valor encontrado por Menezes Júnior (2011) foi de 7,5%. Para resistência à ferrugem, o valor encontrado neste trabalho, 26,32% de redução das notas, foi um pouco inferior ao encontrado no trabalho citado anteriormente, que foi de 33,4% de redução. Já para arquitetura de plantas, o valor encontrado neste trabalho foi superior ao encontrado por Menezes Júnior (2011), que obteve aumento de 0,8% nas notas das linhagens do C_1 em relação às notas das linhagens do C_0 , ressaltando que, quanto maior a nota, pior a expressão do caráter. Quanto ao aspecto de grãos, os valores encontrados foram muito parecidos, 6,82% contra 7,0% de redução das notas.

Esses resultados indicaram que, na média, a diferença de comportamento entre as linhagens do C_0 e do C_1 é estável, uma vez que as estimativas de progresso genético encontradas por Menezes Júnior (2011), com base nas safras de inverno de 2008, seca de 2009 e inverno de 2009, condizem com os valores encontrados neste trabalho. De acordo com Eberhart e Russell (1966), o termo estabilidade refere-se à capacidade de os genótipos mostrarem comportamento altamente previsível em função do estímulo do ambiente. Pelos resultados, as linhagens do C_0 são, na média, previsivelmente inferiores às linhagens do C_1 em produtividade, por exemplo. As estimativas encontradas neste trabalho também indicaram que basta a avaliação simultânea das linhagens de diferentes ciclos por uma safra, para estimar o progresso genético em um programa de seleção recorrente.

Tabela 11 - Médias de produtividade de grãos (kg/ha) e de notas de resistência à ferrugem, arquitetura de planta e aspecto de grãos das 30 linhagens superiores de cada ciclo e progresso genético com base nessas médias. Inverno de 2011. Coimbra – MG.

Ciclo	Médias			
	Produtividade	Ferrugem	Arquitetura	Aspecto de Grão
C ₀	3851	2,5	3,7	2,8
C _I	4267	1,9	3,6	2,6
C _{II}	5393	1,0	3,2	2,5
Progressos Genéticos (%)				
C ₀ para C _I	10,81	-26,32	-1,13	-6,82
C _I para C _{II}	26,39	-44,64	-11,90	-6,37
C ₀ para C _{II}	40,05	-59,21	-12,90	-12,76

Os valores de PG referentes às características ferrugem, arquitetura e aspecto de grãos referem-se à redução das notas das linhagens. Vale ressaltar que, quanto menor as notas para as três características, melhor a expressão do caráter.

Do C_I para o C_{II}, foram obtidos maiores progressos, exceto para aspecto de grãos, que teve progresso genético muito próximo ao valor obtido entre C₀ e C_I (Tabela 11). O ganho do ciclo um para o ciclo dois foi de 26,39% para produtividade de grãos, 44,64% para resistência à ferrugem, 11,90% para arquitetura de plantas e 6,37% para o aspecto de grãos. Na comparação entre C₀ e C_{II}, percebeu-se que o programa de seleção recorrente com feijão vermelho está sendo eficiente, uma vez que os ganhos foram de 40,05% em produtividade de grãos, 59,21% em resistência à ferrugem, 12,90% em arquitetura de plantas, e 12,76% em aspecto de grãos.

Considerando que o programa de seleção recorrente para o melhoramento de feijão vermelho da Universidade Federal de Viçosa teve início em 1999, o ganho anual foi de 3,08% para produtividade de grãos, 4,55% para resistência à ferrugem, 0,99% para arquitetura de plantas e 0,98% para aspecto de grãos. Estes resultados indicaram a eficiência da seleção recorrente como estratégia para o melhoramento do feijoeiro, uma vez que, segundo Matos (2005), a estimativa de ganho anual para o feijão comum quando se utiliza as técnicas clássicas de melhoramento é de 1,6% para produtividade de grãos.

5. CONCLUSÕES

O progresso genético após três ciclos de seleção recorrente foi de 40,05% para produtividade de grãos, 59,21% para resistência à ferrugem, 12,90% para arquitetura de plantas e 12,76% para aspecto de grãos, comprovando a eficiência dessa estratégia no melhoramento do feijoeiro.

Foram identificadas linhagens de feijão vermelho superiores à cultivar Ouro Vermelho, com alta produtividade, bom aspecto de grãos, bom nível de resistência à ferrugem e melhores em arquitetura de planta. Essas linhagens têm potencial para serem incluídas em futuros ensaios de VCU no Estado de Minas Gerais.

6. REFERÊNCIAS

ALZATE-MARIN, A. L.; SOUZA, T. L. P. O. ; ARRUDA, K. M. ; MORAIS, S. M. G.; CHAGAS, J. M.; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A. Reação do cultivar de feijoeiro-comum Vermelhinho à ferrugem, antracnose e mancha angular. **Ceres**, v. 56, p. 164-170, 2006.

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.

ARRUDA, K. M. A. **Melhoramento genético de feijão tipo carioca com ênfase na piramidação de genes de resistência à antracnose**. 2005. 77 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2005.

BORÉM, A.; CARNEIRO, J. E. S. A cultura. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2006. p. 13-18.

BORGES, V.; SOARES, A. A.; RESENDE, M. D. V.; REIS, M. S.; CORNÉLIO, V. M. O.; SOARES, P. C. Progresso genético do programa de melhoramento de arroz de terras altas de Minas Gerais utilizando modelos mistos. **Revista Brasileira de Biometria**. São Paulo, v. 27, n. 3, p. 478-490, 2009.

BOTELHO, F. B. S.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; ROSA, H. J. A. Multiline as a strategy to reduce damage caused by *Colletotrichum lindemuthianum* in common bean. **Journal of Phytopathology**, Online: 28 set. 2010.

CARBONELL S. A. M.; CARVALHO C. R. L.; PEREIRA V. R. Qualidade tecnológica de grãos de genótipos de feijoeiro cultivados em diferentes ambientes. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 3, p. 369-379, 2003.

CARNEIRO, J. E. S.; CHAGAS, J. M.; PAULA JÚNIOR, T. J.; SILVA, L. C.; ARAÚJO, G. A. A.; CARNEIRO, P. C. S.; DEL GIUDICE, M. P.; MENEZES JÚNIOR, J. A. N. Ouro Vermelho: Nova cultivar de feijão vermelho para Minas Gerais. In: CONAFE, 8. 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 2005p. 525-527.

CARNEIRO, J. E. S.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. 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, 2002.

CARNEIRO, J. E. S.; SILVA, L. C.; PAULA JUNIOR, T. J.; ARAUJO, G. A. A.; CARNEIRO, P. C. S.; GIUDICE, M. P.; MENEZES JÚNIOR, J. A. N.; RAMALHO, M. A. P.; PELOSO, M. J.; ABREU, A. F. B. Ouro Vermelho: New red bean cultivar for Minas Gerais. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v. 49, p. 281–282, 2006.

CASTAÑO, J. Manual standard para cuantificación de daños causados por hongos, bacterias y nematodos em frijol. Cali, Colômbia: CIAT, 1985. 22 p.

CHIORATO, A. F.; CARBONELL, S. A. M.; VENCOVSKY, R.; FONSECA JUNIOR, N. S.; PINHEIRO, J. B. Genetic gain in the breeding program of common beans at IAC from 1989 to 2007. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 10, n. 4, p. 329-336, 2010.

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

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

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries históricas.** <<http://www.conab.gov.br/conteudos>>. Acessado em: 12 março 2012.

COSTA, M. R. **Melhoramento de feijões preto e vermelho visando a resistência à antracnose, ferrugem e mancha-angular, com o auxílio de marcadores moleculares.** 2007. 100 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

COSTA, M. R.; TANURE, J. P. M.; ARRUDA, K. M. A.; CARNEIRO, J. E. S.; MOREIRA, M. A.; BARROS, E. G. Development and characterization of common black bean lines resistant to anthracnose, rust and angular leaf spot in Brazil. **Euphytica** Wageningen, v. 176, p. 149-156, 2010.

COUTO, M. A.; SANTOS, J. B.; FERREIRA J. L. Melhoramento do feijoeiro comum com grão tipo carioca visando resistência à antracnose e à mancha angular. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5 p. 1643-1648, 2008.

CRUZ, C. D. **Programa genes – Biometria.** Viçosa, MG : Editora UFV. 2006. 382p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** 3. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2004 v. 1, 480 p.

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.

EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, Madison, v. 6, n. 1, p. 36-40, 1966.

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 Publishers, 1988. p. 503-541.

GERALDI, I. O. Selección recurrente en el mejoramiento de plantas. In: GUIMARÃES E. P. (Ed.) **Selección recurrente en arroz**. Cali, Colômbia: CIAT, 1997. p. 3-11.

HALLAUER, A. R. Recurrent selection in maize. **Advanced in Agronomy**, p. 115-179, 1992.

HULL, F. H. Recurrent selection and specific combining ability in corn. **J. Am. Soc. Agron.**, v. 37, p. 134-145, 1945.

KELLY, J. D.; ADAMS, M. W. Phenotypic recurrent selection in ideotype breeding of pinto beans. **Euphytica**, Wageningen, v. 36, n. 1, p. 69-80, 1987.

KOLKMAN, J. M.; KELLY, J. D. Agronomic traits affecting resistance to white mold in common bean. **Crop science**, Madison, v. 46, n. 3, p. 693-699, 2002.

LYONS, M. E.; DICKSON, M. H.; HUNTER, J. E. Recurrent selection for resistance to white mold in *Phaseolus species*. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 112, n. 1, p. 149-152, 1987.

MARQUES JÚNIOR, O. G. **Eficiência de experimentos com a cultura do feijão**. 1997. 180 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 1997.

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

MATOS, J. W. **Análise crítica do programa de melhoramento genético do feijoeiro da UFPA no período de 1974 a 2004**. 2005. 116 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2005.

MELO, C. L. P.; CARNEIRO, J. E. S.; CARNEIRO, P. C. S.; CRUZ, C. D.; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A. Linhagens de feijão do cruzamento 'Ouro Negro' x 'Pérola' com características agrônômicas favoráveis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1593-1598, 2006.

MENEZES JÚNIOR, J. A. N. **Seleção recorrente no melhoramento de feijão vermelho**. 2011. 70 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

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.

PAULA JÚNIOR, T. J.; VIEIRA, R. F.; TEIXEIRA, H. ; CARNEIRO, J. E. S. **Guia técnico: produção de feijão**. Viçosa, MG: EPAMIG, 2010. 49 p.

PEREIRA, P. A. A.; BRAIDOTTI, W. Comparação de métodos de melhoramento de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) para o incremento da fixação simbiótica de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 31, p. 15-21, 2001.

RAGAGNIN, V. A.; SANGLARD, D. A.; SOUZA, T. L. P. O.; MOREIRA, M. A.; BARROS, E. G. Simultaneous transfer of resistance genes for rust, anthracnose and angular leaf spot to cultivar Pérola assisted by molecular markers. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v. 46, p. 159-160, 2003.

RAMALHO, M. A. P. Melhoramento do feijoeiro. In: SIMPÓSIO DE ATUALIZAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS, Lavras. **Anais...** Lavras, MG. 1997. p. 169-192.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B. Cultivares. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR., T. J.; BORÉM, A. (Eds.). **Feijão**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2006. p. 415-436.

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

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, 2005a.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 2. Ed. Lavras, MG: UFLA, 2005b. 322 p.

RANALLI, P.; RUARO, G.; DEL RE, P.; FAETI, V. Comparison of earl generation yield testing and a single seed descent procedure in two bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crosses. **Journal of Genetics and Breeding**, Rome, Italy, v. 50, n. 2, p. 103-108, 1996.

REIS, E. F.; REIS, M. S.; CRUZ, C. D.; SEDIYAMA, T. Comparação de procedimentos de seleção para produção de grãos em populações de soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 685-692, 2004.

RIBEIRO, E. H.; PEREIRA, M. G.; COELHO, K. S.; FREITAS JÚNIOR, S. P. Estimativas de parâmetros genéticos e seleção de linhagens endogâmicas

recombinantes de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ceres**, v. 56, p. 580-590, 2009.

RIBEIRO, N. D.; POSSEBON, S. B.; STORCK, L. Progresso genético em caracteres agronômicos no melhoramento do feijoeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 4, p. 629-633, 2003.

RODRIGUES, J. A.; RIBEIRO, N. D.; LONDERO P. M. G.; CARGNELUTTI FILHO, A.; GARCIA, D. C. Correlação entre absorção de água e tempo de cozimento de cultivares de feijão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 1, p. 209-214, 2005.

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, G. S.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. B. F.; NUNES, J. A. R. Estimation of genetic progress after eight cycles of recurrent selection for common bean grain yield. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 10, n. 4, p. 351-356, 2010.

SINGH, S. Breeding. for seed yield. In: van SCHOONHOVEN, A.; VOYSEST, O. (eds.). **Common beans: research for crop improvement**. Wallingford: CAB International, p. 383-443. 1991.

SINGH, S. P.; TERÁN, H.; MUÑOZ, 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.

STAVELY, J. R.; FREYTAG, G. F.; STEADMAN, J. R.; SCHWARTZ, H. F. The 1983 Bean Rust Workshop. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**. v. 26, p. 4-6, 1983.

TORGA, P. P.; SANTOS, J. B.; PEREIRA, H. S.; FERREIRA, D. F.; LEITE, M. E. Seleção de famílias de feijoeiro baseada na produtividade, no tipo de grãos e informações de QTLs. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 95-100, 2010.

VENCOVSKY, R.; RAMALHO, M. A. P. Contribuições do melhoramento genético de plantas no Brasil. In: PATERNIANI, E. **Agricultura brasileira e pesquisa agropecuária**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia. 2000. p. 57-89.

VIEIRA, C., ARAÚJO, G. A. A., CARDOSO, A. A. Triagem de germoplasma de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em busca de fontes de tolerância à baixa temperatura - II. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 47, n. 271, p. 337-348, 2000.

VIEIRA, C.; BORÉM, A.; RAMALHO, M. A. P.; CARNEIRO, J. E. S. Melhoramento do feijão. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa, MG: Editora UFV. 2005. p. 301-392.