

JOSÉ ÂNGELO NOGUEIRA DE MENEZES JÚNIOR

**SELEÇÃO RECORRENTE NO MELHORAMENTO DE FEIJÃO VERMELHO**

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

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2011

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

T

M543s  
2011

Menezes Júnior, José Ângelo Nogueira de, 1981-  
Seleção recorrente no melhoramento de feijão vermelho /  
José Ângelo Nogueira de Menezes Júnior. – Viçosa, MG,  
2011.  
xi, 70f. ; 29cm.

Orientador: José Eustáquio de Souza Carneiro.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Referências bibliográficas: f. 62-70

1. Feijão - Melhoramento genético. 2. Genética  
quantitativa. 3. *Phaseolus vulgaris*. 4. Variação (genética).  
5. Seleção de plantas - Melhoramento genético.  
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.


CDD 22. ed. 635.65223

JOSÉ ÂNGELO NOGUEIRA DE MENEZES JÚNIOR

**SELEÇÃO RECORRENTE NO MELHORAMENTO DE FEIJÃO VERMELHO**

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

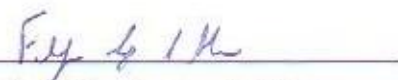
APROVADA: 18 de janeiro de 2011



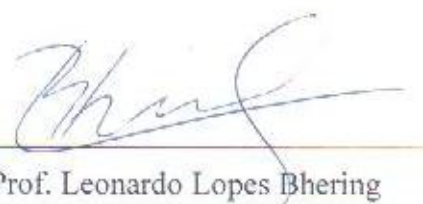
Prof. Luiz Alexandre Peternelli  
(Co-orientador)



Prof. Pedro Crescêncio Souza Carneiro  
(Co-orientador)



Dr. Felipe Lopes da Silva



Prof. Leonardo Lopes Bhering



Prof. José Eustáquio de Souza Carneiro  
(Orientador)

*Aos meus familiares e amigos.*

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por tudo.

Aos meus pais, José Angelo e Zilá, pelo amor, carinho, confiança e por sempre desejarem o melhor para mim.

Aos meus irmãos, Érica e Matheus e meu cunhado, Eire, pelo amor, amizade e incentivo.

A Vanessa, pelo amor, companhia, apoio, convivência, e por dividir comigo todos os momentos do curso.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, pela oportunidade de realização do curso de doutorado.

A Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao CNPq, à CAPES e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio financeiro em todas as atividades de pesquisa do Programa Feijão da Universidade Federal de Viçosa.

Ao Professor José Eustáquio de Souza Carneiro, por ser mais que um orientador, mas também um amigo, uma pessoa a quem se espelhar e admirar.

Ao Professor Pedro Crescêncio Souza Carneiro, pela grande amizade, pelos valiosos ensinamentos e pela disponibilidade. Sua competência e dedicação ao trabalho o tornam um exemplo de profissional.

Ao Professor Luiz Alexandre Peternelli, pela disponibilidade e atenção a mim dispensados em todas as vezes que precisei.

Aos membros da banca, professor Leonardo Lopes Bhering e Dr. Felipe Lopes da Silva, pela disponibilidade e sugestões para o enriquecimento deste trabalho.

Ao Eduardo por ser mais que um primo, um irmão.

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

Aos funcionários da Agronomia e da estação experimental de Coimbra, em especial ao Sebastião, Pereira, Carlinhos, Potoca, João Ambires, Nilson, Fonseca, João e Luis, pela ajuda na condução dos experimentos.

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

Às secretárias do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento Edna, Rita e Rose pela atenção e ajuda.

A todos aqueles que contribuíram para a realização deste trabalho, deixo aqui meu sincero MUITO OBRIGADO.

## **BIOGRAFIA**

JOSÉ ÂNGELO NOGUEIRA DE MENEZES JÚNIOR, filho de José Angelo Nogueira de Menezes e Zilá Benigna Lara Menezes, nasceu em 11 de novembro de 1981, em Itaúna, estado de Minas Gerais.

Em fevereiro de 2000, ingressou na Universidade Federal de Viçosa, graduando-se em Agronomia, obtendo o título em janeiro de 2005.

Em março de 2005, iniciou o curso de Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas na Universidade Federal de Lavras, obtendo o título de mestre em fevereiro de 2007.

Em março de 2007, iniciou o curso de Doutorado em Genética e Melhoramento na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em janeiro de 2011.

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO .....	viii
ABSTRACT .....	x
2. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1. Objetivos do melhoramento do feijoeiro no Brasil .....	3
2.2. Hibridação no melhoramento do feijoeiro .....	6
2.3. Métodos de condução de populações segregantes .....	7
2.4. Seleção recorrente .....	11
2.5. Seleção recorrente no melhoramento do feijoeiro .....	14
2.6. Melhoramento de feijão vermelho .....	17
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	19
3.1. Local .....	19
3.2. Condução dos experimentos - Ciclo zero ( $C_0$ ) .....	19
3.2.1. Obtenção da população base - $C_0$ .....	19
3.2.2. Avaliação das famílias $F_{3:5}$ , $F_{3:6}$ e $F_{3:7}$ do ciclo zero ( $C_0$ ) .....	20
3.2.3. Análises genético-estatísticas .....	21
3.2.4. Seleção de famílias para recombinação e extração de linhagens ( $C_0$ ) .....	26
3.2.5. Avaliação das linhagens derivadas do ciclo zero ( $C_0$ ) .....	27
3.3. Condução dos experimentos - Ciclo um ( $C_1$ ) .....	28
3.3.1. Obtenção da população base do ciclo um ( $C_1$ ) .....	28
3.3.2. Avaliação das famílias $F_{5:6}$ e $F_{5:7}$ do ciclo um ( $C_1$ ) .....	29
3.4. Progresso genético .....	30
4. RESULTADOS .....	33
4.1. Condução dos experimentos do ciclo zero ( $C_0$ ) .....	33
4.1.1. Avaliação e seleção das famílias do ciclo zero ( $C_0$ ) .....	33

4.1.2. Avaliação das linhagens do ciclo zero ( $C_0$ ).....	36
4.2. Condução dos experimentos do ciclo um ( $C_1$ ).....	41
4.2.1. Avaliação e seleção das famílias do ciclo um ( $C_1$ ).....	41
4.3. Progresso genético.....	45
5. DISCUSSÃO .....	53
6. CONCLUSÕES .....	61
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62

## RESUMO

MENEZES JÚNIOR, José Ângelo Nogueira, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, janeiro de 2011. **Seleção recorrente no melhoramento de feijão vermelho.** Orientador: José Eustáquio de Souza Carneiro. Co-orientadores: Pedro Crescêncio Souza Carneiro e Luiz Alexandre Peternelli.

Este trabalho foi realizado com os objetivos de estimar o progresso genético após dois ciclos de seleção recorrente no melhoramento de feijão vermelho e obter linhagens visando à composição dos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) para Minas Gerais, Brasil. A população base foi obtida a partir do cruzamento da cultivar Vermelhinho, única de grãos vermelhos brilhantes adaptada as condições de cultivo no estado de Minas Gerais, com linhagens elites e fontes de resistência a doenças. O programa de seleção recorrente foi conduzido avaliando-se famílias por duas gerações e a recombinação das melhores para obtenção do ciclo seguinte. No ciclo zero ( $C_0$ ) foram avaliadas famílias  $F_{3:5}$  e  $F_{3:6}$  e recombinadas famílias  $F_{3:7}$ . Já no ciclo um ( $C_1$ ) as famílias foram extraídas na geração  $F_5$  e avaliadas nas gerações  $F_{5:6}$  e  $F_{5:7}$ , sendo a recombinação realizada utilizando famílias  $F_{5:8}$ . Após a seleção das melhores famílias para recombinação, estas continuaram sendo avaliadas visando a obtenção de linhagens. Na fase de recombinação, para obtenção da população do ciclo um, além de 17 famílias selecionadas no ciclo zero, foram incluídos três novos genitores (VR-3, VR-2 e BRS Timbó). Nos dois ciclos de seleção as famílias foram avaliadas em Coimbra-MG no delineamento em látice simples ou triplo. Como as famílias foram avaliadas em anos e gerações diferentes, a estimativa do progresso genético foi obtida comparando as 30 melhores linhagens obtidas no final de cada ciclo. As linhagens foram avaliadas juntamente com as testemunhas Ouro Vermelho e Vermelhinho no delineamento de blocos ao acaso com três repetições e parcelas de duas linhas de dois metros, nas safras do inverno de 2008 e da seca e inverno de 2009. Após dois ciclos de seleção recorrente,

o progresso genético foi de 7,5% para produtividade de grãos, 7,0% para aspecto de grãos, 33,4% para severidade de ferrugem e 13,2% para severidade de mancha angular. A inclusão de novas linhagens durante a fase de recombinação mostrou-se eficiente para programas de seleção recorrente com a cultura do feijoeiro. Foram obtidas linhagens de feijão vermelho superiores às cultivares Vermelhinho e Ouro Vermelho, com potencial para serem incluídas em futuros ensaios de VCU no estado de Minas Gerais. A existência de variabilidade genética, para todas as características avaliadas evidencia a possibilidade de se obter sucesso com a seleção nos ciclos seguintes e que o programa de seleção recorrente deve ter continuidade.

## ABSTRACT

MENEZES JÚNIOR, José Ângelo Nogueira, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, January, 2011. **Recurrent selection in red bean breeding.** Adviser: José Eustáquio de Souza Carneiro. Co-advisers: Pedro Crescêncio Souza Carneiro and Luiz Alexandre Peternelli.

This work was carried out to obtain an estimate of genetic progress after two cycles of recurrent selection in red bean breeding and to obtain lines aiming at the composition of the tests of Value for Cultivation and Use (VCU) in Minas Gerais, Brazil. The base population was obtained from the cross of the cultivar Vermelhinho, the only one with shiny red grains adapted to the cultivation conditions of the state of Minas Gerais, with elite lines and sources of resistance to diseases. The recurrent selection program was conducted by evaluating the families of two generations and recombination of the best ones to obtain the next cycle. At cycle zero ( $C_0$ ) were evaluated families  $F_{3:5}$  and  $F_{3:6}$  and recombined families  $F_{3:7}$ . As for cycle one ( $C_1$ ), the families were extracted in generation  $F_5$  and evaluated in generations  $F_{5:6}$  and  $F_{5:7}$ , with the recombination being carried out using the families  $F_{5:8}$ . After selecting the best families for recombination, these continued being evaluated aiming to obtain lines. During the recombination phase, in order to obtain the cycle one population, besides the 17 families selected in cycle zero, three new parents were included (VR-3, VR-2 and BRS Timbó). In the two selection cycles, the families were evaluated in Coimbra-MG using a simple or triple lattice design. Since the families were evaluated in different years and generations, the genetic progress estimate was obtained by comparing the 30 best lines obtained at the end of the cycle. The lines were evaluated together with the checks Ouro Vermelho and Vermelhinho in a randomized block design, with three repetitions and plots of two 2-meter long lines during the 2008 winter season (sowing Jun/Jul) and 2009 dry season (sowing Feb/Mar) and winter season. After two cycles of

recurrent selection, genetic progress was 7.5% for grain yield, 7.0% for grain aspect, 33.4% for rust severity and 13.2% for angular leaf spot severity. Inclusion of new lines during the recombination phase was found to be efficient for recurrent selection programs for bean plant culture. Red bean lines superior to the cultivars Vermelhinho and Ouro Vermelho were obtained, with the potential to be included in future VCU trials in the state of Minas Gerais. The existence of genetic variability for all the characteristics evaluated shows the possibility of obtaining a successful selection in the following cycles, and that the recurrent selection program must be continued.

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, os feijões com maior aceitação comercial são os dos grupos carioca e preto. Assim, os principais programas de melhoramento desta leguminosa têm dado ênfase a esses tipos de grãos, com ganhos expressivos para produtividade de grãos, resistência a doenças, arquitetura de plantas, precocidade e qualidade dos grãos (Cunha et al., 2005; Ramalho et al., 2005a; Melo et al., 2006; Silva et al., 2007; Ragagnin et al. 2009; Botelho et al., 2010; Costa et al., 2010). Entretanto, alguns tipos de feijão, embora de pouca expressão nacional, são importantes em determinadas regiões do país. É o caso, por exemplo, do feijão vermelho, amplamente cultivado na Zona da Mata de Minas Gerais.

Em razão dos programas de melhoramento do feijoeiro se dedicarem, principalmente, aos tipos carioca e preto, os produtores de regiões onde a preferência é por outros tipos de grãos, geralmente, são obrigados a utilizar cultivares crioulas ou tradicionais, que, em geral, são pouco competitivas frente às cultivares melhoradas. No caso do feijão vermelho, a cultivar utilizada pelos agricultores da Zona da Mata Mineira, chamada Vermelhinho, apresenta algumas características indesejáveis, especialmente no que se refere à suscetibilidade a patógenos (Alzate-Marin et al. 2006). Além disso, esta cultivar apresenta baixo potencial de produção comparada às cultivares melhoradas.

Outra cultivar de grãos vermelhos, chamada Vermelho 2157, embora de maior potencial produtivo e mais tolerante a doenças, não é utilizada pelos produtores da Zona da Mata Mineira, pois apresenta grãos de coloração muito desuniforme. Este fato limitou sua utilização, pois este tipo de grão não tem aceitação comercial (Vieira 2005). Portanto, há uma grande demanda por novas cultivares neste grupo comercial.

Visando atender essa demanda, o Programa Feijão da Universidade Federal de Viçosa (UFV), no final da década de 1990, se dispôs a dedicar também ao

melhoramento do feijão vermelho. Fruto recente deste trabalho foi a recomendação da cultivar Ouro Vermelho (Carneiro et al. 2006), com produtividade 30% superior a cultivar Vermelhinho. 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. Contudo, como a demanda por feijão vermelho tem sido cada vez maior na região, é necessário que sejam obtidas novas cultivares, superiores àquelas em uso pelos produtores. Dessa forma, as novas cultivares, além de mais produtivas, devem apresentar maior espectro de resistência aos patógenos e outros fenótipos desejáveis, como plantas de porte ereto.

Considerando que os vários fenótipos de interesse estão distribuídos em diferentes genitores, e que é quase impossível reunir todos esses fenótipos em um único ciclo seletivo, é que tem sido proposto o uso da seleção recorrente (Hallauer 1992), ou seja, a condução de ciclos contínuos de seleção e recombinação (Geraldi 1997). Essa estratégia vem sendo utilizada com grande 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). Assim, este trabalho foi realizado com os objetivos de estimar o progresso genético após dois ciclos de seleção recorrente no melhoramento de feijão vermelho e obter linhagens visando à composição dos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) para Minas Gerais.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Objetivos do melhoramento do feijoeiro no Brasil**

O Brasil é o maior produtor mundial de feijão comum, sendo também o maior consumidor. Entretanto a média de produtividade brasileira é considerada baixa, cerca de 880 kg/ha (CONAB 2010). A baixa produtividade pode ser explicada pelo fato de que o feijão é produzido principalmente por pequenos agricultores, que geralmente não utilizam adubos e corretivos de maneira correta, nem sempre controlam pragas e doenças e não utilizam sistemas de irrigação.

Apesar da produtividade média brasileira ser baixa, produtores que utilizam as tecnologias disponíveis, tais como, irrigação por pivô central e controle eficiente de pragas e doenças, conseguem ultrapassar a marca de 3000 kg/ha (Borém e Carneiro, 2006). Este é um indicativo de que, apenas melhorando o manejo da cultura poderia aumentar muito a média nacional. Entretanto a realidade do país não permite que todos os produtores de feijão tenham acesso a tecnologias de alto custo. Portanto, o caminho mais viável para elevar a produtividade média brasileira é por meio do melhoramento genético, uma vez que, a utilização de sementes de cultivares melhoradas não implica em 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 um fator muito importante para que os agricultores brasileiros consigam aumentar a produtividade sem elevar os custos de produção e, conseqüentemente, obter maior lucro. A escolha de maneira correta da cultivar pode diminuir o custo de produção, por exemplo, pela redução no uso de fungicidas, que pode ser conseguido pela adoção de cultivares resistentes a doenças.

A obtenção de novas cultivares de feijão que substituam com vantagens as já existentes tem sido um desafio constante nos programas de melhoramento do feijoeiro. A identificação de novas cultivares que atendam aos objetivos dos agricultores e consumidores envolve atividades de pesquisa que demandam dedicação e, sobretudo, continuidade (Ramalho e Abreu, 2006). Os principais objetivos tem sido o aumento da produtividade e a resistência às doenças, mas outras características têm despertado a atenção dos melhoristas, tais como tolerância à seca e arquitetura de planta mais apropriada à colheita mecanizada (Vieira et al., 2005).

Vieira et al. (2005) discutem alguns propósitos do melhoramento do feijoeiro. O primeiro deles, e o mais importante, é o aumento na produtividade de grãos. No melhoramento visando aumentar a capacidade produtiva do feijoeiro, os autores classificaram as características que devem ser selecionadas em três categorias: fisiológicas, morfológicas e da produtividade e seus componentes primários. Na literatura são encontrados vários relatos de ganhos para produtividade de grãos em feijão (Ribeiro et al., 2003; Matos et al., 2007; Chiorato et al. 2010).

A resistência a doenças também tem recebido grande atenção dos melhoristas, pois é grande o número de enfermidades que podem prejudicar a cultura (Singh e Schwartz, 2010). Em geral, as mais importantes no Brasil são o mosaico dourado, o crestamento bacteriano comum, a antracnose, a ferrugem e a mancha angular (Vieira et al., 2005). Contudo, em determinados ambientes outras doenças podem tornar-se altamente prejudiciais, como o mofo-branco e a murcha de fusarium no plantio irrigado de inverno.

Para antracnose, por exemplo, são encontrados vários trabalhos com bons resultados, sobre o estudo do controle genético da doença, na identificação de marcadores moleculares e na obtenção de linhagens resistentes (Pereira et al., 2004; Alzate-Marin et al., 2009; Ragagnin et al., 2009; Botelho et al., 2010). Também são encontrados trabalhos com ferrugem (Faleiro et al., 1999b; Souza et al., 2008; Costa et al., 2010); mancha angular (Nietsche et al., 2001; Amaro et al., 2007; Balbi et al., 2009); crestamento bacteriano comum (Rava, et al., 1996; Costa e Rava, 2003) e mosaico dourado (Lemos et al., 2003; Bonfin et al., 2007).

Outro propósito discutido por Vieira et al. (2005) é a resistência a pragas, que incluem insetos, ácaros e lesmas. Os 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, esta é uma área bastante carente e promissora no melhoramento do feijoeiro.

O melhoramento para qualidade dos grãos tem recebido grande atenção dos programas de melhoramento, pois o consumidor é muito exigente, e procura 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 fixação simbiótica de nitrogênio é outro propósito discutido por Vieira et al. (2005). De modo geral, não se tem dado muita importância à fixação biológica de nitrogênio, devido à baixa eficiência. Portanto, os produtores têm utilizado fertilizantes nitrogenados, para obter altos rendimentos. Contudo, esta é uma característica promissora no melhoramento do feijoeiro, uma vez que, pode trazer grande economia na utilização de fertilizantes químicos. Nesse sentido, existem trabalhos com o objetivo de melhorar a eficiência da seleção de plantas com maior potencial de fixação simbiótica (Pereira e Braidotti, 2001).

O melhoramento da arquitetura de 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 mecanizada. Pois, as cultivares prostradas não permitem fazer a colheita com colheitadeira, à semelhança da cultura da soja, pois ocorrem grandes perdas. Contudo, cultivares que apresentam plantas eretas e com resistência ao acamamento, tem sido a preferência dos melhoristas, uma vez que, 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 prolongados de chuvas, é possível retardá-la com menor prejuízo. Plantas com este fenótipo também podem reduzir a incidência de alguns patógenos, como o mofo-branco (Kolman e Kelly, 2002), pois permitem melhor circulação de ar entre as plantas, promovendo condições menos favoráveis ao patógeno. Assim esta é relacionada por Ramalho e Abreu (2006) como uma das mais importantes características observadas no melhoramento do feijoeiro. Contudo, a seleção de plantas de porte ereto é tarefa difícil, pois são muitas as características que compõem a arquitetura da planta e, portanto, podem influenciar na expressão do caráter. Ao longo do tempo, a arquitetura da planta do feijoeiro tem despertado a atenção dos melhoristas, na busca pelo ideótipo da planta de feijão (Adams, 1973; Adams, 1982; Kelly e Adams,

1987; Brothers e Kelly, 1993; Kelly, 2001; Beattie et al., 2003; Silva et al., 2009; Silva, 2011).

Como são muitas as características a serem melhoradas na cultura do feijoeiro e ainda não foi selecionada a planta ideal, a alternativa mais indicada para obter linhagens que reúnam vários fenótipos desejáveis é a hibridação.

## **2.2. Hibridação no melhoramento do feijoeiro**

A introdução de linhagens de outros programas de melhoramento, especialmente do Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), foi, até pouco tempo, o principal método de melhoramento utilizado pelos pesquisadores brasileiros. As linhagens introduzidas são avaliadas em experimentos conduzidos em locais representativos de uma região e, aquelas de melhor desempenho são recomendadas aos agricultores. Um exemplo de linhagem introduzida, de muito sucesso no Brasil, é a cultivar Ouro Negro, originada em Honduras. Esta cultivar é utilizada pelos agricultores desde o início da década de 1990. Entre seus principais atributos pode-se destacar a alta produtividade de grãos, ampla adaptação às condições de cultivo, tolerância a várias doenças e excelente qualidade de grãos. A utilização da introdução de linhagens vem sendo gradativamente reduzida, principalmente após a lei de proteção de cultivares, que regulamenta a necessidade de um acordo formal entre as instituições envolvidas (Vieira et al., 2005).

A seleção de linhas puras é outro método de melhoramento bastante utilizado na cultura do feijoeiro (Ramalho et al., 2001), principalmente devido à variabilidade que pode ocorrer nas cultivares após vários anos de utilização. Essa variabilidade pode ser originada de mutações e/ou cruzamentos naturais. Um exemplo de cultivar obtida pela seleção de linhas puras é a Carioca (Almeida et al., 1971). Atualmente, as cultivares de grãos tipo carioca são as mais plantadas no Brasil.

Nos últimos anos o emprego da hibridação no melhoramento do feijoeiro tem sido a principal fonte de novas linhagens (Melo et al. 2006; Rocha, 2008; Couto et al. 2008; Menezes Júnior et al. 2011). Em programas de melhoramento que utilizam a hibridação, a escolha dos genitores deve ser realizada com bastante critério. O tipo de cruzamento (simples, duplo, triplo, múltiplo) e a escolha do método de condução de população segregante, também devem ser considerados com bastante atenção.

Os cruzamentos são, em geral, realizados entre genitores cujas características de interesse são complementares e necessárias para solucionar os problemas que ocorrem

em uma determinada região. A escolha dos genitores pode ser realizada utilizando alguma metodologia (Baenziger e Peterson, 1992), como a média dos experimentos de avaliação de cultivares, os cruzamentos dialélicos, técnicas multivariadas, dentre outros. Além disso, é importante observar seus respectivos tipos de grão, resistência às doenças e pragas, hábito de crescimento, qualidades culinárias e suas origens. No caso de escolha de populações segregantes, também existem algumas metodologias, tais como: o uso das estimativas de  $m + a$  e  $d$ , o método de Jinks e Pooni (1976) e os cruzamentos dialélicos.

Uma vez escolhidos os genitores de um programa de melhoramento, estes devem ser cruzados para obtenção das populações segregantes. Existem algumas maneiras de se promover os cruzamentos (simples, duplo, triplo, múltiplo) e a escolha da melhor opção nem sempre é fácil. Carneiro et al. (2002) destacaram que, quando o melhorista têm objetivos bem definidos e condições de avaliar as populações segregantes para identificar as de melhor potencial, o emprego de cruzamentos simples e duplos é mais vantajoso que a utilização de cruzamentos múltiplos.

No melhoramento de plantas autógamas o objetivo é a obtenção de linhagens, genótipos homozigóticos com alelos favoráveis no maior número de locos. Portanto, em programas de melhoramento que utilizam a hibridação, as sementes  $F_1$  devem ser avançadas até a homozigose. Assim, o melhorista precisa decidir pelo método de condução de gerações segregantes com o qual terá maiores possibilidades de atingir seu objetivo.

### **2.3. Métodos de condução de populações segregantes**

Existem vários métodos de condução de populações segregantes (Allard, 1960; Ramalho et al., 2001; Vieira et al., 2005; Borém e Miranda, 2009), cada um com vantagens e desvantagens. Como esta é a fase mais demorada e que demanda mais mão de obra, a escolha do método mais adequado é fundamental para o sucesso da tarefa. Os métodos mais utilizados na cultura do feijoeiro são: o método massal, o método genealógico ou de "pedigree", o método da população ou *bulk*, o "SSD" (descendência por uma única semente) e mais recentemente o método do *bulk* dentro de famílias  $F_2$ ,  $F_3$  ou  $F_4$ .

No método massal os indivíduos são selecionados fenotipicamente a partir da geração  $F_2$  até atingir a homozigose. Seu uso tem sido limitado, uma vez que utiliza basicamente a experiência do melhorista na identificação visual dos indivíduos

geneticamente superiores. Portanto, o emprego desse método só será eficiente para caracteres de alta herdabilidade (Ramalho et al., 2001).

O método genealógico tem como princípio a seleção de plantas individuais a partir da geração  $F_2$ , que são colhidas e semeadas em linha na geração  $F_3$ , quando são selecionadas as melhores famílias e as melhores plantas dentro das famílias. O processo é repetido até que seja atingida a homozigose e, só então, as linhagens selecionadas são avaliadas em experimentos com repetições (Borém e Miranda, 2009). Entre as restrições do método estão: o volume de anotações, pois toda a genealogia deve ser conhecida; e o fato da seleção ser realizada fenotipicamente nas gerações iniciais, entre famílias e dentro delas. Esta última restrição é limitante, uma vez que a seleção visual dos caracteres de baixa herdabilidade, como a produção de grãos, tem eficiência muito baixa (Silva et al., 1994; Raposo et al., 2000). Já o conhecimento da genealogia, anotada no início do processo de seleção, pode ser utilizado com o objetivo de melhorar a eficiência na seleção das linhagens, empregando o BLUP (Best Linear Unbiased Prediction), o que passa a ser vantajoso (Nunes et al., 2008).

O método *bulk* ou da população é um método simples e prático. Além disso, permite o avanço de várias populações ao mesmo tempo, com pouca mão de obra e sem a necessidade de grandes áreas experimentais. A partir da geração  $F_2$  as plantas são colhidas, sem seleção, e tomada uma amostra de sementes para a obtenção da população  $F_3$ . O processo se repete por algumas gerações até que o *bulk* é aberto, ou seja, são extraídas plantas individuais dentro da população para dar origem às linhagens a serem avaliadas em experimentos com repetição (Ramalho et al., 2001). Uma das vantagens desse método é o efeito da seleção natural durante o avanço das gerações, que atua contribuindo para a manutenção dos indivíduos mais adaptados (Allard, 1960). No caso da produtividade de grãos de feijão, Corte et al. (2002) verificaram a eficiência da seleção natural, após 17 gerações, em seis populações oriundas de cruzamentos biparentais, obtendo aumento de 2,5% por geração na produtividade de grãos. Utilizando a cultura do feijoeiro para verificar se o atraso na abertura do *bulk*, aumenta as chances de obter linhagens mais produtivas Silva et al. (2004) conduziram uma população até a geração  $F_{24}$ . Foram extraídas plantas das gerações  $F_2$ ,  $F_8$  e  $F_{24}$  e observaram que das 30 melhores, 18 foram provenientes da geração  $F_{24}$ , concluindo que o atraso na abertura do *bulk* aumenta a chance de obter linhagens superiores. Contudo, na cultura do feijoeiro as principais limitações desse método são: a perda de alelos favoráveis por amostragem e o efeito da competição que pode atuar diminuindo a

freqüência de genótipos com alelos favoráveis para certos caracteres como a precocidade e porte ereto (Gonçalves et al., 2001).

O método da descendência de uma única semente - *single seed descent* (SSD) - foi proposto com o intuito de reduzir o tempo requerido para se atingir uma alta proporção de locos em homozigose, avançando as gerações fora da época normal de semeadura da cultura. Tem como princípio avançar as gerações segregantes tomando uma única semente de cada indivíduo da população, a partir da geração  $F_2$ , para obtenção da geração seguinte. O procedimento é repetido em todas as gerações, até que o nível de homozigose desejado seja atingido. Assim, cada linhagem corresponde a uma planta  $F_2$  diferente, reduzindo a perda por amostragem (Ramalho et al., 2001). Além de evitar o erro por amostragem este método possibilita o avanço das populações segregantes, com menor trabalho e pouco espaço. Nos países de clima temperado, tem como principal vantagem a possibilidade de avançar as gerações em casa de vegetação. No caso do feijoeiro, no Brasil, esta vantagem não é tão importante, pois é possível conduzir duas a três gerações no campo, por ano. Uma desvantagem desse método que normalmente não é realçada é a perda da variabilidade dentro das famílias, uma vez que, com o aumento da endogamia, a variabilidade liberada dentro da família é equivalente à existente entre plantas da geração  $F_2$  (Ramalho et al., 2001). Para solucionar este problema é necessário partir de uma população  $F_2$  maior possível.

O método do *bulk* dentro de famílias consiste na seleção de plantas individuais nas gerações  $F_2$ ,  $F_3$  ou  $F_4$ , em que, cada planta originará uma família. As famílias então obtidas,  $F_{2:3}$ ,  $F_{3:4}$  ou  $F_{4:5}$ , são colhidas em *bulk* e avaliadas em experimentos com repetições. As avaliações são realizadas por mais duas ou três gerações, em diferentes safras e, se possível, em diferentes locais, o que permite estimar a interação genótipos x ambientes. Assim, após a análise conjunta, é possível selecionar as famílias com muito mais segurança, principalmente para caracteres de baixa herdabilidade. Nesse método, tem-se a vantagem de poder reduzir as perdas por amostragem, pois os descendentes das plantas  $F_2$  ou  $F_3$  são mantidos individualizados. A seleção natural atua apenas dentro das famílias, e não são feitas anotações da genealogia. Entretanto, o trabalho envolvido na avaliação das famílias, em experimentos com repetição, depende de muita mão-de-obra, estrutura e recursos, tornado difícil avaliar um grande número de famílias, o que pode comprometer a representatividade da variabilidade existente na população. Esse método tem sido cada vez mais empregado nos programas de melhoramento do feijoeiro no Brasil, sobretudo em programas de seleção recorrente (Ramalho et al., 2005a; Amaro et al., 2007; Menezes Júnior et al., 2008).

Como observado, todos os métodos de condução de populações segregantes possuem vantagens e desvantagens. Portanto, a decisão de qual método utilizar depende da mão de obra disponível, da estrutura, do melhorista, das condições climáticas, dos recursos disponíveis, entre outros.

Alguns estudos de comparação entre os métodos de condução de populações segregantes já foram realizados e, no caso específico da cultura do feijoeiro, Raposo et al. (2000), compararam a eficiência dos métodos genealógico, *bulk*, SSD, *bulk* dentro de F<sub>2</sub> e *bulk* dentro de F<sub>3</sub> na produtividade de grãos. Para realizar o trabalho foi utilizada a população segregante do cruzamento entre as cultivares Carioca x Flor de Mayo. Os autores verificaram que os diferentes métodos não apresentaram diferenças marcantes na obtenção de famílias superiores. Mas, diante da facilidade e flexibilidade, consideraram os métodos *bulk* e SSD mais vantajosos. Costa et al. (2002) em trabalho conduzido utilizando seis populações segregantes, compararam os métodos: seleção massal modificada (colheita de uma vagem de cada planta resistente a antracnose), *bulk* dentro de F<sub>3</sub>, *bulk* dentro de F<sub>4</sub> e genealógico, para resistência à antracnose e produtividade de grãos. A seleção massal modificada foi o método que proporcionou o maior número de linhagens resistentes à antracnose. Dentre os quatro métodos, as linhagens obtidas pelo método *bulk* dentro de F<sub>4</sub>, apresentaram a maior variabilidade genética. Foi enfatizado também que os genitores e a interação linhagem x local influenciaram nos resultados. Silva et al. (2008) avaliando a qualidade protéica verificaram que o método do *Bulk* mostrou-se mais eficiente em relação aos métodos SSD e *Bulk* dentro de famílias.

Modificações nos métodos de condução de populações segregantes são utilizadas com frequência no melhoramento do feijoeiro (Santos et al. 2001). No caso do *bulk*, por exemplo, uma das modificações normalmente utilizada é o emprego da seleção a cada geração, para características de alta herdabilidade, especialmente aspecto de grãos. Nesse caso, o método passa a ser denominado de *bulk* com seleção. Silva (2009) avaliou a eficiência do método *bulk* com seleção para aspecto de grãos na população segregante do cruzamento entre as cultivares de feijão Ouro Negro e Meia Noite. Neste trabalho a população foi avançada até a geração F<sub>8</sub> e verificou-se que a seleção para aspecto de grãos, praticada durante o avanço das gerações, não comprometeu a variabilidade genética para produtividade de grãos. Assim, a seleção para aspecto de grãos, quando praticada, deve ser realizada já nas primeiras gerações de endogamia.

Finalmente, é possível perceber que a escolha do método de condução de população segregante mais adequado depende muito da característica, dos objetivos do trabalho e, sobretudo, dos recursos disponíveis.

#### **2.4. Seleção recorrente**

Programas de melhoramento que utilizam a hibridação para reunir fenótipos desejáveis, que se encontram em diferentes genitores, necessitam utilizar estratégias de melhoramento que permita alcançar tal objetivo. A estratégia escolhida deve envolver as diferentes etapas descritas anteriormente: escolha dos genitores, hibridação e método mais adequado de condução de populações segregantes.

Entre os métodos de melhoramento empregados na cultura do feijoeiro, recentemente, a seleção recorrente tem se destacado. Este é um método que, inicialmente, foi proposto para melhoramento de plantas alógamas (Hull, 1945), devido à facilidade de se realizar os cruzamentos. No caso específico do feijoeiro a realização de cruzamentos também não é problemática, portanto a utilização da seleção recorrente tem sido ampliada.

A seleção recorrente é um método dinâmico, em que os melhores indivíduos ou famílias selecionados em um ciclo de seleção recorrente são recombinados de maneira direcionada, organizada e pré-determinada, evitando que o melhorista perca tempo definindo quais linhagens devem ser cruzadas, ou até mesmo que o programa perca a continuidade. Assim, percebe-se que uma grande vantagem da seleção recorrente é que a sua utilização deixa o programa de melhoramento mais organizado.

Independente do método de melhoramento, as melhores linhagens obtidas são utilizadas em cruzamentos, para gerar novas populações segregantes, caracterizando todos os métodos de seleção como recorrentes. 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 vai aumentando a cada ciclo de seleção, sem que a variabilidade seja esgotada. Nos outros métodos, os cruzamentos são realizados entre linhagens com fenótipos desejáveis, objetivando selecionar indivíduos que reúnam as características de interesse dos diferentes genitores, em apenas uma etapa. A partir de então as novas linhagens obtidas no final do processo de melhoramento são utilizadas como genitores em outros programas de melhoramento, de acordo com os interesses do melhorista. Assim é fácil perceber que o tempo gasto para obter uma nova população melhorada, com a seleção recorrente, é menor, pois os cruzamentos são realizados com maior frequência e de

maneira organizada. No caso do feijoeiro, com 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 foi definida por Ramalho et al. (2001) como sendo qualquer processo cíclico de melhoramento que envolve a obtenção de famílias, avaliação e o inter cruzamento das melhores. Esperando assim, que a frequência dos alelos favoráveis seja aumentada e, por consequência, melhorar a expressão fenotípica do caráter sob seleção. A seleção recorrente envolve basicamente três etapas: obtenção da população base, avaliação das famílias e recombinação das selecionadas para obtenção do ciclo seguinte. É um processo dinâmico e contínuo que 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).

Na literatura são descritos alguns argumentos a favor da utilização da seleção recorrente, principalmente quando o caráter de interesse é controlado por vários genes (Fouilloux e Bannerot, 1988; Geraldi, 1997; Ramalho et al., 1997). Geraldi (1997) aponta como principais vantagens da seleção recorrente: obtenção de maior variabilidade genética oriunda dos inter cruzamentos; oportunidade para ocorrência de recombinações, devido aos inter cruzamentos sucessivos; aumento das frequências dos alelos favoráveis, devido a um processo repetitivo de seleção e facilidade para incorporação de germoplasma exótico na população durante as fases de recombinação.

Conforme já mencionado, a condução de um programa de seleção recorrente envolve basicamente três etapas: a formação da população base, avaliação e seleção das famílias e o inter cruzamento das melhores. Em todas essas etapas têm-se inúmeras alternativas, cuja decisão é dependente de uma série de fatores.

Um programa de seleção recorrente inicia com a escolha dos genitores (população base), etapa que merece máxima atenção do melhorista, pois dela depende todo o sucesso do programa. 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). Nesse sentido, como genitores do programa de seleção recorrente, devem ser escolhidas 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. Caso seja necessário a inclusão de linhagens mal adaptadas, um programa de retrocruzamento deve ser conduzido à parte e, só depois que seus descendentes apresentarem níveis satisfatórios de adaptação, é que devem ser incluídos no inter cruzamento.

O número de genitores a serem envolvidos na formação da população base, também é outro ponto que merece ser discutido. Inicialmente, imagina-se que quanto maior, melhor, porém, se esse número for grande, a contribuição alélica de cada parental será pequena, com grandes chances de se perder 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). Nesse caso, obter boa variabilidade e manter na população os alelos de todos os genitores é relativamente mais fácil, principalmente se a recombinação for bem feita.

No caso do feijoeiro, na etapa de recombinação, a utilização da macho esterilidade é possível, porém, algumas dificuldades são encontradas, como o pólen que não se dispersa naturalmente e a difícil identificação e manutenção das plantas macho estéreis. Devido a essas dificuldades e considerando que a recombinação é feita de forma direcionada, a recombinação manual é a melhor opção. Uma alternativa para recombinação dos genitores que tem sido utilizada com sucesso nos programas de seleção recorrente é a metodologia de Bearzoti, descrita por Ramalho et al. (2001). Nesse esquema, 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. Considerando 20 genitores, por exemplo, em cada intercruzamento, 20 populações híbridas serão obtidas.

Após a obtenção da população base a próxima etapa da seleção recorrente é a avaliação e seleção dos melhores indivíduos ou famílias. Há várias opções de se proceder à avaliação e seleção. Em princípio, ela pode ser massal ou utilizando algum tipo de família. A seleção massal (individual) é normalmente visual, portanto recomendada para caracteres de alta herdabilidade (Amaro et al., 2007; Silva et al., 2007). Já com o uso de famílias, pode ser em experimentos com repetições ou, até mesmo, sem repetições. De modo geral, o uso de famílias endogâmicas tem sido mais comum, sendo avaliadas, principalmente,  $S_{0:1}$  e  $S_{0:2}$  (Ramalho et al., 2001).

Avaliados e selecionados os melhores indivíduos ou famílias, estes devem ser intercruzados, para obtenção de um novo ciclo de seleção. Quando a seleção é realizada utilizando plantas individuais, estas podem ser recombinadas no campo. Assim, é possível avançar um ciclo de seleção recorrente por safra, como, por exemplo, 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 de dois a três anos (Ramalho et al. 2005a).

A seleção recorrente tem sido empregada com sucesso no melhoramento do feijoeiro (Sullivan & Bliss, 1983; Beaver & Kelly, 1994; Singh et al., 1999; Ramalho et al., 2005a; Menezes Júnior et al., 2008). Contudo, ocorrem variações na metodologia de condução do programa, principalmente no que se refere à unidade seletiva, ao número de genitores utilizados, na forma de realizar o intercruzamento, no método de avaliar as populações obtidas e no método de avaliar o progresso genético.

## **2.5. Seleção recorrente no melhoramento do feijoeiro**

Na cultura do feijoeiro, a seleção recorrente tem sido empregada visando à melhoria de várias características. Sullivan e Bliss (1983) verificaram aumento de 21,9 a 24,6% na quantidade de proteína após dois ciclos de seleção recorrente. Para produtividade de grãos não foi observado progresso significativo, contudo, foram identificadas famílias com alta produtividade.

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. Utilizando uma escala de notas para realizar as avaliações, verificaram progresso genético de 31%.

Com o objetivo de selecionar linhagens resistentes a doenças causadas por patógenos do solo (*Pythium* spp, *Rhizoctonia solani*, *Macrophomina phaseolina* e *Fusarium* spp.), Garcia et al. (2003) avaliaram a taxa de sobrevivência e a produtividade de grãos das melhores linhagens provenientes do terceiro, quarto, quinto e sexto ciclo de seleção recorrente, conduzidos na região de Mixteca, México. Foi observado aumento progressivo na produtividade de grãos e na porcentagem de plantas sobreviventes, à medida que se avançaram os ciclos seletivos.

Em programa de seleção recorrente fenotípica, Amaro et al. (2007) utilizando a avaliação da geração  $S_{0:1}$ , de cinco ciclos seletivos, sempre conduzida na safra da “seca” (safra mais favorável a 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 a 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 (progênies  $S_{0:5}$ ) obtidas nos três

primeiros ciclos seletivos, nesse caso a estimativa do progresso genético foi de 13,8% para a reação a mancha angular e de 2,1% para a produtividade de grãos.

Ao verificar a eficiência da seleção recorrente em aumentar o número de nódulos no feijoeiro após três ciclos de seleção recorrente, Pereira et al. (1993) observaram aumento de 211% no número de nódulos por planta. Em trabalho visando aumentar a capacidade de fixação de nitrogênio ( $N_2$ ), Barron et al. (1999) após a condução de três ciclos de seleção recorrente observaram que as famílias do ciclo dois ( $C_{II}$ ) foram em média 11% mais produtivas que as famílias do ciclo zero ( $C_0$ ), 13% superiores em relação à quantidade de nitrogênio fixado por planta e 15% superiores quanto ao peso da matéria seca.

Comparando a eficiência da seleção recorrente realizando a seleção em gerações precoces e em gerações mais avançadas, Beaver e Kelly (1994) após três ciclos de seleção, em populações derivadas de diferentes *pool's* gênicos, verificaram que ambas as estratégias foram eficientes, na cultura do feijoeiro. Singh et al. (1999) avaliando famílias  $S_{0:1}$  estimaram progresso genético para produtividade de grãos em duas populações, uma proveniente de cruzamentos inter-raciais e outra proveniente do cruzamento entre linhagens de *pool's* gênicos diferentes. O ganho médio por ciclo seletivo foi cerca de 15 % em ambas as populações.

Após três ciclos de seleção recorrente, para produtividade de grãos, Ranalli (1996) estimou o progresso genético pela avaliação de 45 famílias  $S_{0:2}$  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 a obtenção de linhagens de grãos tipo carioca e alta produtividade de grãos, Ramalho et al. (2005a) avaliando famílias  $S_{0:1}$  e  $S_{0:2}$  e recombinando famílias  $S_{0:3}$ , obtiveram progresso genético de 10,5% para a notas de aspecto de grãos e 5,7% para produtividade de grãos. O progresso genético foi estimado avaliando as cinco melhores linhagens obtidas no final de cada ciclo. Os autores destacaram que a seleção recorrente é uma boa alternativa para o melhoramento do feijoeiro, principalmente para caracteres controlados por muitos genes.

A seleção recorrente também tem sido empregada com sucesso no melhoramento da arquitetura da planta do feijoeiro. Como há uma associação entre porte ereto 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, contudo, apenas no terceiro ciclo foram encontradas plantas do tipo II com grãos de tamanho comercial. Os 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.

Visando à obtenção de linhagens de feijoeiro com alta produtividade, grãos tipo carioca e porte ereto, considerando os três caracteres em conjunto, Cunha et al. (2005) obtiveram progresso genético de 3,1% após um ciclo de seleção recorrente. Após a condução de três ciclos de seleção o progresso genético para produtividade de grãos foi de 64,62 kg/ha/ciclo, valor correspondente a 3,13% de ganho com a seleção recorrente por ciclo. Para aspecto de grãos, o progresso também foi positivo e relativamente alto, 11,24% por ciclo. No caso da nota de porte, o progresso genético foi negativo (-5,11%). Mas neste trabalho o objetivo principal foi obter a estimativa do progresso genético considerando os três caracteres simultaneamente, uma vez que a seleção considerava os três caracteres com pesos iguais. Para isso as variáveis foram padronizadas, o que permitiu somá-las e estimar o progresso genético obtido para os três caracteres simultaneamente. Assim, após três ciclos de seleção recorrente, o progresso genético foi de 3,1% por ciclo, indicando que, considerando-se os três caracteres, a seleção recorrente foi eficiente, obtendo linhagens produtivas de porte ereto e grãos tipo carioca (Menezes Júnior et al., 2008).

Com o objetivo de avaliar a eficiência da seleção recorrente fenotípica para redução do número de dias para o florescimento em feijoeiro, Silva et al. (2007) realizaram o cruzamento entre cinco linhagens precoces e dez de ciclo normal no esquema de dialelo parcial. As sementes de 11 populações de florescimento mais precoce foram misturadas para formar a população base  $S_0$  (ciclo 0). Em cada ciclo de seleção, no momento do florescimento, as plantas de florescimento mais precoce foram selecionadas fenotipicamente e intercruzadas para obtenção do ciclo seguinte. Após seis ciclos seletivos, na geração  $S_1$  de cada ciclo, foram selecionadas 53 plantas, gerando um total de 318 progênies  $S_{1:2}$ . Utilizando os dados médios da avaliação simultânea das progênies  $S_{1:2}$  dos seis ciclos seletivos, foi estimado o progresso genético de 2,2% ao ano, para o número de dias para o florescimento, indicando que a seleção recorrente fenotípica foi efetiva em reduzir o número de dias para o florescimento. Os autores destacaram que não houve resposta correlacionada à seleção para o número de dias para o florescimento nos demais caracteres avaliados, depreendendo ser possível a seleção de

progênies que associem florescimento precoce, aliado à expressão fenotípica dos demais caracteres conforme o interesse dos melhoristas.

## **2.6. Melhoramento de feijão vermelho**

No Brasil, os feijões de maior aceitação comercial são os dos grupos carioca e preto (Vieira et al., 2005). Contudo, alguns tipos comerciais, embora de pouca expressão nacional, são específicos e importantes em determinadas regiões do país, como o feijão vermelho, de grãos brilhantes, na Zona da Mata de Minas Gerais. Como a importância deste tipo de grão é regionalizada, a disponibilidade de cultivares recomendadas neste grupo é bastante reduzida.

A cultivar vulgarmente chamada de Vermelhinho foi até meados da década de 2000 a única utilizada pelos produtores. Esta cultivar apresenta boa capacidade produtiva quando não é atingida por doenças (Vieira et al., 2000). Mas, como é suscetível a ferrugem e mancha angular (Alzate-Marin et al., 2006), doenças importantes no estado de Minas Gerais, apresenta baixa produtividade quando comparada a cultivares melhoradas. Outra cultivar recomendada para Minas Gerais é a Vermelho 2157. Contudo, devido à desuniformidade da coloração vermelha dos grãos, sua aceitação é limitada (Vieira et al., 2000).

Devido à grande importância do feijão vermelho na Zona da Mata de Minas Gerais, a Universidade Federal de Viçosa (UFV) se dispôs a trabalhar também com este tipo de grão. As primeiras linhagens de feijão vermelho que se destacaram (Vi. 16-3-1, Vi. 16-3-3 e Vi. 16-3-4) foram obtidas por Vieira et al. (2000). Os autores chamaram a atenção para a boa produtividade e bom aspecto de grãos dessas linhagens.

Em meados da década de 1990 foi iniciado na UFV um programa de seleção recorrente visando obter linhagens de feijão vermelho superiores às cultivares recomendadas. No ciclo zero ( $C_0$ ) de seleção recorrente, foram obtidas várias linhagens com produtividade e aspecto de grãos superiores aos da cultivar Vermelhinho (Menezes Júnior et al., 2003). Dentre essas, cinco foram avaliadas nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) no estado de Minas Gerais, ciclo 2003/2004 (Silva, 2005), culminando com a recomendação de uma delas (VR 6) denominada “Ouro Vermelho” (Carneiro et al. 2006). Essa cultivar apresentou boa aceitação pelos produtores, substituindo completamente a cultivar Vermelhinho.

Como as cultivares de feijão vermelho utilizadas pelos agricultores apresentam suscetibilidade a doenças importantes como mancha angular, ferrugem, crestamento-

bacteriano-comum e mosaico comum, o programa de melhoramento do feijoeiro do Instituto de Biotecnologia Aplicada à Agropecuária (BIOAGRO/UFV) tem se empenhado na incorporação de alelos de resistência a doenças nas cultivares Vermelhinho e Ouro Vermelho (Costa, 2007; Tanure et al. 2008). Assim, já foram disponibilizadas algumas linhagens de feijão vermelho resistentes à antracnose e ferrugem, com possibilidade de serem incorporadas ao programa como fonte de resistência a essas doenças (Costa, 2007).

Embora o programa de melhoramento do feijoeiro da UFV já tenha obtido várias linhagens de feijão vermelho, a demanda por este tipo de grão tem sido cada vez maior, sendo necessária a obtenção de novas cultivares, superiores àquelas em uso pelos produtores. As novas cultivares, além de mais produtivas, devem apresentar maior nível de resistência a doenças e outros fenótipos desejáveis, como por exemplo, plantas de porte ereto. Assim, apenas por meio de ciclos contínuos de seleção e recombinação será possível obter linhagens de feijão vermelho que reúnam vários fenótipos de interesse.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Local

Os experimentos foram conduzidos no Campo Experimental de Coimbra, pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), município de Coimbra, estado de Minas Gerais, situado a 690 metros de altitude, 20°45' S de latitude e 42°51' W de longitude.

#### 3.2. Condução dos experimentos - Ciclo zero (C<sub>0</sub>)

##### 3.2.1. Obtenção da população base - C<sub>0</sub>

Para dar início ao programa de seleção recorrente a cultivar Vermelhinho, única de grãos vermelhos disponível para os agricultores da Zona da Mata Mineira, foi recombinada com as seguintes linhagens: Aporé, Pérola, IAPAR31, IAPAR81, AN9022180, LR720982CP, AFR19521, AFR19535, AB136 e Vermelho2157. Foram obtidas 18 combinações oriundas de cruzamentos simples, duplos e retrocruzamentos (Tabela 1), sempre envolvendo a cultivar Vermelhinho, conforme descrito por Menezes Júnior et al. (2011). Os cruzamentos foram realizados em casa de vegetação utilizando o procedimento sem emasculação, conforme descrito por Peternelli et al. (2009).

As sementes F<sub>1</sub>'s obtidas de cada cruzamento foram avançadas em *bulk* até a geração F<sub>3</sub>. De cada combinação foram extraídas cerca de 50 plantas, levando em consideração basicamente a cor padrão do grão vermelho cultivado na Zona da Mata Mineira. As progênies dessas plantas deram origem às famílias avaliadas nas gerações F<sub>3:5</sub>, F<sub>3:6</sub> e F<sub>3:7</sub>.

**Tabela 1.** Cruzamentos utilizados na composição da população base (ciclo zero - C<sub>0</sub>)

Cruzamento	Genealogia
1 - RVC072	Vermelhinho/AB136//Vermelhinho/AFR19521
2 - RVC040	Vermelhinho//Vermelhinho/AN9022180
3 - RVC043	Vermelhinho//Vermelhinho/Pérola
4 - RVC069	Vermelhinho/AN9022180//Vermelhinho/Vermelho2157
5 - RVC053	Vermelhinho/AB136//Vermelhinho/Vermelho2157
6 - RVC041	Vermelhinho//Vermelhinho/IAPAR31
7 - RVC038	Vermelhinho//Vermelhinho/Aporé
8 - RVC061	Vermelhinho/Pérola//Vermelhinho/AFR19521
9 - RVC065	Vermelhinho/IAPAR31//Vermelhinho/AFR19535
10 - RVC039	Vermelhinho//Vermelhinho/LR720982CP
11 - RVC042	Vermelhinho//Vermelhinho/IAPAR81
12 - RVC057	Vermelhinho/Aporé//Vermelhinho/AFR19521
13 - RVC066	Vermelhinho/Pérola//Vermelhinho/AB136
14 - RVC052	Vermelhinho/IAPAR31//Vermelhinho/AB136
15 - RVC067	Vermelhinho/LR720982CP//Vermelhinho/AB136
16 - RVC054	Vermelhinho/AFR19521//Vermelhinho/Vermelho2157
17 - RVC071	Vermelhinho/AB136//Vermelhinho/Vermelho2157
18 - RVC068	Vermelhinho/LR720982CP//Vermelhinho/AFR19521

### 3.2.2. Avaliação das famílias F<sub>3:5</sub>, F<sub>3:6</sub> e F<sub>3:7</sub> do ciclo zero (C<sub>0</sub>)

Do total de famílias obtidas, foram selecionadas 243 com grãos vermelhos que mais se aproximaram do padrão Vermelhinho. Estas famílias, juntamente com 13 testemunhas foram avaliadas quanto à produtividade de grãos por três gerações, F<sub>3:5</sub>, F<sub>3:6</sub> e F<sub>3:7</sub>, nas safras da seca e inverno de 2002 e seca de 2003, respectivamente. O delineamento utilizado foi o látice quadrado triplo, sendo as parcelas constituídas por duas linhas de dois metros, espaçadas de cinquenta centímetros. Detalhes sobre estes experimentos são apresentados na Tabela 2.

Na semeadura, a adubação utilizada foi de 400 kg/ha do formulado 8-28-16 e, aos 20 dias após a emergência, 200 kg/ha de sulfato de amônia, em cobertura. Para realizar o plantio os sulcos foram feitos mecanicamente e a semeadura por meio de matracas. A irrigação, quando necessária, e os demais tratos culturais foram de acordo com o recomendado para a cultura na região.

**Tabela 2.** Detalhes experimentais da avaliação das famílias segregantes do ciclo zero de seleção recorrente

Geração	Experimentos		
	F <sub>3:5</sub>	F <sub>3:6</sub>	F <sub>3:7</sub>
Nº de famílias	243	243	243
Nº de testemunhas	13	13	13
Ano Agrícola	2002	2002	2003
Safra	seca	inverno	seca
Delineamento	látice	látice	látice
Nº de repetições	3	3	3
Tamanho da parcela	2 linhas de 2m	2 linhas de 2m	2 linhas de 2m
Característica avaliada	Produtividade	Produtividade	Produtividade

### 3.2.3. Análises genético-estatísticas

Antes de proceder à análise dos dados, as pressuposições básicas da análise de variância foram testadas. As observações relativas à produtividade de grãos, em kg/ha, foram submetidas à análise de variância (ANOVA) por geração, considerando todos os efeitos como aleatório, exceto a média (Cruz et al., 2004), conforme o modelo estatístico:

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

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  $i = 1, 2, 3, \dots, 256$ ;

$b_j$  : efeito da repetição  $j$ , sendo  $j = 1, 2$  e  $3$ ;

$p_{l(j)}$  : efeito do bloco  $l$ , sendo  $l = 1, 2, 3, \dots, 16$ , dentro da repetição  $j$ ;

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

Posteriormente, foi realizada a análise de variância conjunta utilizando as médias ajustadas dos tratamentos, de acordo com Ramalho et al. (2005b). Vale salientar que, inicialmente, foi aplicado o teste de Hartley, certificando-se da homogeneidade de variância do erro, indicando, portanto, a possibilidade de realização da referida análise

conjunta. O modelo adotado, considerando todos os efeitos como aleatório, exceto a média, 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  $i = 1, 2, 3, \dots, 256$ ;

$b_{j(k)}$  : efeito da repetição  $j$  dentro da geração  $k$ , sendo  $j = 1, 2$  e  $3$ ;

$a_k$  : efeito da geração  $k$ , sendo  $k = 1, 2$  e  $3$ ;

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

$\bar{e}_{ijk}$  : erro médio associado à observação  $Y_{ijk}$ , assumindo que os erros são independentes e normalmente distribuídos, com média zero e variância  $\sigma_e^2$ .

Como os tratamentos constituíam-se de 243 famílias e 13 testemunhas, o efeito de tratamentos foi decomposto em famílias, testemunhas e no contraste família vs. testemunhas (Tabela 3). Para realizar as análises de variância, foram utilizados os programas estatísticos MSTAT-C Michigan State University (1991) e GENES (Cruz, 2006).

O esquema das análises de variância, por geração e conjunta, com as esperanças matemáticas dos quadrados médios, é apresentado na Tabela 3.

**Tabela 3.** Esquema da análise de variância por geração e conjunta, com as esperanças dos quadrados médios E(QM)

Análise individual		
FV	QM	E(QM)
Tratamentos		
Famílias (F)	$Q_1$	$\sigma_{e_k}^2 + r\sigma_{P_k}^2$
Testemunhas (T)		
F vs. T		
Erro	$Q_2$	$\sigma_{e_k}^2$
Análise conjunta		
Gerações (G)		
Tratamentos		
Famílias (F)	$Q_3$	$\sigma_e^2 + r\sigma_{(P \times G)}^2 + rk\sigma_P^2$
Testemunhas (T)		
F vs. T		
Gerações x Tratamentos		
G x F	$Q_4$	$\sigma_e^2 + r\sigma_{(P \times G)}^2$
G x T		
G x F vs. T		
Erro Médio	$Q_5$	$\sigma_e^2$

$\sigma_{e_k}^2$  : variância ambiental da geração k;  $\sigma_{P_k}^2$  : variância genética entre famílias da geração k;  $\sigma_e^2$  : variância ambiental;  $\sigma_{(P \times G)}^2$  : variância da interação famílias x gerações;  $\sigma_P^2$  : variância genética entre famílias;  $r$  : número de repetições;  $k$  : número de gerações.

A partir das esperanças matemáticas dos quadrados médios das análises individuais, apresentados na Tabela 3, foram estimadas a variância genética entre as famílias da geração  $k$  ( $\hat{\sigma}_{P_k}^2$ ), a variância fenotípica ( $\hat{\sigma}_{F_k}^2$ ) e a herdabilidade ( $\hat{h}_k^2$  %) no sentido amplo, pelos seguintes estimadores:

a) variância genética entre as famílias da geração  $k$  :

$$\hat{\sigma}_{P_k}^2 = \frac{(Q_1 - Q_2)}{r}$$

O intervalo de confiança (IC), associado à estimativa da variância genética das famílias da geração  $k$ , foi estimado a partir da expressão apresentada por Ramalho et al. (2005b):

$$IC : P\left(\frac{Vp\hat{\sigma}_{P_k}^2}{X_{\alpha/2}^2} < \sigma_{P_k}^2 < \frac{Vp\hat{\sigma}_{P_k}^2}{X_{1-\alpha/2}^2}\right) = (1-\alpha)100\%$$

em que:

$\alpha$  : nível de significância preestabelecido (no caso 0,05);

$\hat{\sigma}_{P_k}^2$  : estimador da variância genética entre as famílias da geração  $k$  ;

$Vp$  : número de graus de liberdade, associado ao componente da variância genética, o qual foi obtido segundo Satterthwaite (1946);

$X_{\alpha/2}^2$  e  $X_{1-\alpha/2}^2$  : quantis da distribuição de  $X^2$  (Qui-quadrado) para  $Vp$  graus de liberdade;

b) variância fenotípica entre as famílias da geração  $k$  :

$$\hat{\sigma}_{F_k}^2 = \frac{Q_1}{r};$$

c) herdabilidade no sentido amplo para seleção das famílias na geração  $k$  :

$$\hat{h}_k^2 = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \times 100$$

em que:

$Q_1$  : quadrado médio da fonte de variação famílias obtido na geração  $k$  ;

$Q_2$  : quadrado médio do erro obtido na geração  $k$  .

Os limites inferiores (LI) e superiores (LS) das estimativas da herdabilidade, ou seja, os intervalos de confiança, foram obtidos pelas expressões apresentadas por Knapp et al. (1985), com  $\alpha = 0,05$ :

$$LI = \left\{ 1 - \left[ \left( \frac{Q_1}{Q_2} \right) \times F_{1-\frac{\alpha}{2}; g'l_2, g'l_1} \right]^{-1} \right\}$$

$$LS = \left\{ 1 - \left[ \left( \frac{Q_1}{Q_2} \right) \times F_{\frac{\alpha}{2}; g'l_2, g'l_1} \right]^{-1} \right\}$$

em que:

$F$  : Quantil superior da distribuição F de Snedecor a  $1-\alpha/2$  e  $\alpha/2$ . É obtido invertendo-se os graus de liberdade e tomando-se o recíproco do valor tabelado;

$Q_1$  e  $Q_2$  : quadrado médio de famílias e quadrado médio do erro;

$gl_1$  e  $gl_2$  : graus de liberdade de  $Q_1$  e  $Q_2$ .

A partir das esperanças matemáticas dos quadrados médios da análise conjunta, apresentados na Tabela 3, foram estimadas a variância genética entre as médias das famílias ( $\hat{\sigma}_p^2$ ), a variância fenotípica entre as médias das famílias ( $\hat{\sigma}_F^2$ ), a variância da interação famílias x gerações ( $\hat{\sigma}_{(P \times G)}^2$ ) e a herdabilidade ( $\hat{h}^2$  %) no sentido amplo para a seleção na média das famílias, pelos seguintes estimadores:

a) variância genética entre as médias das famílias, obtida na ANOVA conjunta:

$$\hat{\sigma}_p^2 = \frac{(Q_3 - Q_4)}{rk}$$

O intervalo de confiança (IC), associado à estimativa da variância genética, foi estimado a partir da expressão apresentada por Ramalho et al. (2005b):

$$IC : P\left(\frac{Vp\hat{\sigma}_p^2}{X_{\alpha/2}^2} < \sigma_p^2 < \frac{Vp\hat{\sigma}_p^2}{X_{1-\alpha/2}^2}\right) = (1 - \alpha)100\%$$

em que:

$\alpha$  : nível de significância preestabelecido (no caso 0,05);

$\hat{\sigma}_p^2$  : estimador da variância genética entre as famílias;

$Vp$  : número de graus de liberdade, associado ao componente da variância genética, o qual foi obtido segundo Satterthwaite (1946);

$X_{\alpha/2}^2$  e  $X_{1-\alpha/2}^2$  : quantis da distribuição de  $X^2$  (Qui-quadrado) para  $Vp$  graus de liberdade;

b) variância fenotípica entre as médias das famílias, obtida na ANOVA conjunta:

$$\hat{\sigma}_F^2 = \frac{Q_3}{rk};$$

c) variância da interação famílias x gerações obtida na ANOVA conjunta:

$$\hat{\sigma}_{(P \times G)}^2 = \frac{(Q_4 - Q_5)}{r};$$

d) herdabilidade no sentido amplo para a seleção na média das famílias:

$$\hat{h}^2 = \frac{Q_3 - Q_4}{Q_3} \times 100$$

Os limites inferiores (LI) e superiores (LS) das estimativas foram obtidos pelas expressões apresentadas por Knapp et al. (1985), com  $\alpha = 0,05$ :

$$LI = \left\{ 1 - \left[ \left( \frac{Q_3}{Q_4} \right) \times F_{1-\frac{\alpha}{2}; gl_4, gl_3} \right]^{-1} \right\}$$

$$LS = \left\{ 1 - \left[ \left( \frac{Q_3}{Q_4} \right) \times F_{\frac{\alpha}{2}; gl_4, gl_3} \right]^{-1} \right\}$$

em que:

$F$ : Quantil superior da distribuição F de Snedecor a  $1-\alpha/2$  e  $\alpha/2$ . É obtido invertendo-se os graus de liberdade e tomando-se o recíproco do valor tabelado;

$Q_3$  e  $Q_4$ : quadrado médio obtido na avaliação de variação da fonte de variação famílias e quadrado médio obtido na avaliação de variação da fonte de variação famílias x gerações.

$gl_3$  e  $gl_4$ : graus de liberdade de  $Q_3$  e  $Q_4$ .

### 3.2.4. Seleção de famílias para recombinação e extração de linhagens ( $C_0$ )

Após a avaliação das 243 famílias, nas safras da seca ( $F_{3:5}$ ) e inverno ( $F_{3:6}$ ) de 2002, as mais produtivas passaram por uma seleção levando em consideração a cor padrão do grão vermelho, cultivado na Zona da Mata de Minas Gerais. Assim, foram selecionadas 17 famílias, sendo uma de cada cruzamento, para constituir os genitores do ciclo um ( $C_1$ ). Apenas o cruzamento 18 - RVC068 (Tabela 1), (Vermelhinho/LR720982CP//Vermelhinho/AFR19521) não foi contemplado.

A cada geração, as famílias avaliadas foram avançadas pelo método do *bulk* dentro de famílias. Como os dados de produtividade foram obtidos com base na média da família, é esperado que dentro delas possam ser selecionadas plantas com desempenho superior à família. Assim, as famílias mais produtivas e de melhor aspecto de grãos foram utilizadas para extração de linhagens. As linhagens obtidas no ciclo zero foram extraídas dentro de famílias  $F_{3:7}$  e avaliadas como descrito a seguir.

### **3.2.5. Avaliação das linhagens derivadas do ciclo zero (C<sub>0</sub>)**

Foram obtidas cerca de 400 plantas dentro das melhores famílias e multiplicadas (geração F<sub>7:8</sub>). Destas foram selecionadas 154, considerando basicamente o aspecto do grão. As linhagens derivadas dessas plantas foram avaliadas juntamente com 15 testemunhas nas safras da seca de 2006 (geração F<sub>7:9</sub>) e seca de 2007 (geração F<sub>7:10</sub>). Utilizou-se o delineamento em látice quadrado triplo e parcelas constituídas de duas linhas de dois metros, espaçadas de cinquenta centímetros. O sistema de plantio e os tratamentos culturais foram os mesmos descritos anteriormente, na fase de avaliação de famílias.

Na safra da seca de 2007, além da produtividade de grãos, foram atribuídas notas de aspecto de grãos e arquitetura de planta. O aspecto de grãos foi avaliado considerando uma escala de notas variando de 1 a 5, em que nota 1 refere-se ao grão típico vermelho, com presença de brilho, não achatado, formato elíptico e peso médio de 100 sementes entre 22 e 24g; nota 2 ao grão tipo vermelho com deficiência em uma das características mencionadas no padrão; nota 3 ao grão tipo vermelho com deficiência em duas das características mencionadas no padrão; nota 4 ao grão tipo vermelho com deficiência em três das características mencionadas no padrão e nota 5 ao grão fora do padrão vermelho. A avaliação da arquitetura de planta também foi realizada por meio de uma escala de notas descrita por Collicchio (1995). Essa escala varia de 1 a 5 em que: nota 1 refere-se a planta de hábito II, ereta, com uma haste e com inserção alta das primeiras vagens e nota 5 a planta de hábito III, com entrenós longos e muito prostrada.

Utilizando procedimento semelhante ao descrito anteriormente na fase de avaliação de famílias, foram realizadas as análises de variância individuais para os três caracteres avaliados. Posteriormente, foi realizada análise conjunta da produtividade de grãos. Os efeitos de tratamentos e a média foram considerados como fixos (Cruz et al., 2004). Como os tratamentos constituíam-se de 154 linhagens e 15 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 a variância dentro de cada cruzamento.

As médias das linhagens foram comparadas com a média da cultivar Ouro Vermelho, pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

### 3.3. Condução dos experimentos - Ciclo um (C<sub>1</sub>)

#### 3.3.1. Obtenção da população base do ciclo um (C<sub>1</sub>)

Além das 17 famílias selecionadas no ciclo zero, para constituir os genitores do ciclo um (C<sub>1</sub>), três linhagens (BRS Timbó, VR-2 e VR-3) foram incluídas na fase de recombinação. Essas linhagens além de produtivas são fontes de resistência a mancha angular e ferrugem, doenças importantes na cultura do feijoeiro. Para recombinar os vinte genitores do ciclo um, foi utilizado o esquema proposto por Bearzoti, descrito por Ramalho et al. (2001). Nesse esquema cada genitor foi cruzado com dois outros sendo obtidos 20 cruzamentos (Tabela 4).

**Tabela 4.** Cruzamentos utilizados na composição da população do ciclo um (C<sub>1</sub>)

Cruzamento	Genealogia
RVCI284	Vermelinho/AB136//Vermelinho/AFR19521 /// Vermelinho//Vermelinho/IAPAR31
RVCI285	Vermelinho//Vermelinho/AN9022180 /// Vermelinho//Vermelinho/Aporé
RVCI286	Vermelinho//Vermelinho/Pérola /// Vermelinho/Pérola//Vermelinho/AFR19521
RVCI287	Vermelinho/AN9022180//Vermelinho/Vermelho2157 /// Vermelinho/IAPAR31//Vermelinho/AFR19535
RVCI288	Vermelinho/AB136//Vermelinho/Vermelho2157 /// Vermelinho//Vermelinho/LR720982CP
RVCI289	Vermelinho//Vermelinho/IAPAR31 /// Vermelinho//Vermelinho/IAPAR81
RVCI290	Vermelinho//Vermelinho/Aporé /// Vermelinho/Aporé//Vermelinho/AFR19521
RVCI291	Vermelinho/Pérola//Vermelinho/AFR19521 /// Vermelinho/Pérola//Vermelinho/AB136
RVCI292	Vermelinho/IAPAR31//Vermelinho/AFR19535 /// Vermelinho/IAPAR31//Vermelinho/AB136
RVCI293	Vermelinho//Vermelinho/LR720982CP /// Vermelinho/LR720982//Vermelinho/AB136
RVCI294	Vermelinho//Vermelinho/IAPAR81 /// Vermelinho/AFR19521//Vermelinho/Vermelho2157
RVCI295	Vermelinho/Aporé//Vermelinho/AFR19521 /// Vermelinho/AB136//Vermelinho/Vermelho2157
RVCI296	Vermelinho/Pérola//Vermelinho/AB136 /// VR-2
RVCI297	Vermelinho/IAPAR31//Vermelinho/AB136 /// VR-3
RVCI298	Vermelinho/LR720982//Vermelinho/AB136 /// BRS Timbó
RVCI299	Vermelinho/AFR19521//Vermelinho/Vermelho2157 /// Vermelinho/AB136//Vermelinho/AFR19521
RVCI300	Vermelinho/AB136//Vermelinho/Vermelho2157 /// Vermelinho//Vermelinho/AN9022180
RVCI301	VR-2 /// Vermelinho//Vermelinho/Pérola
RVCI302	VR-3 /// Vermelinho/AN9022180//Vermelinho/Vermelho2157
RVCI303	BRS Timbó /// Vermelinho/AB136//Vermelinho/Vermelho2157

As sementes F<sub>1</sub>'s dos 20 cruzamentos foram avançadas até a geração F<sub>5</sub> em *bulk* com seleção para aspecto de grãos, uma vez que, foram introduzidas nos cruzamentos três novos genitores de grãos roxo (BRS Timbó, VR-2 e VR-3). Na geração F<sub>5</sub> foram extraídas 19 plantas de cada cruzamento, para constituir as famílias a serem avaliadas no ciclo um (C<sub>1</sub>).

### 3.3.2. Avaliação das famílias F<sub>5:6</sub> e F<sub>5:7</sub> do ciclo um (C<sub>1</sub>)

Dentro de cada cruzamento, na geração F<sub>5</sub> do ciclo um (C<sub>1</sub>), foram extraídas 19 plantas, levando em consideração basicamente o aspecto do grão. Essas plantas constituíram as famílias F<sub>5:6</sub>, que juntamente com 20 testemunhas foram avaliadas na safra do inverno de 2007 em um látice simples 20 x 20 e parcelas constituídas de uma linha de dois metros. Na geração seguinte (F<sub>5:7</sub>), safra da seca de 2008, as oito melhores famílias de cada cruzamento foram avaliadas juntamente com nove testemunhas no delineamento em látice triplo 13 x 13 e parcelas de duas linhas de dois metros. O sistema de plantio e os tratos culturais foram os mesmos descritos anteriormente, na avaliação de famílias do ciclo zero.

As famílias F<sub>5:6</sub> e F<sub>5:7</sub> do ciclo um (C<sub>1</sub>) foram avaliadas quanto à produtividade de grãos (kg/ha), arquitetura de planta e aspecto de grãos. As escalas utilizadas na avaliação da arquitetura de planta e aspecto de grãos já foram apresentadas anteriormente. Também foram avaliadas a severidade de ferrugem e mancha angular nas safras do inverno de 2007 (geração F<sub>5:6</sub>) e seca de 2008 (geração F<sub>5:7</sub>), respectivamente. Todas as avaliações utilizando escalas de notas foram realizadas por pelo menos dois avaliadores, sendo as análises realizadas com a média da parcela.

A severidade de ferrugem foi avaliada utilizando uma escala de notas de seis graus, apresentada por Vieira et al. (2005) em que: nota 1 - ausência de pústulas (imune), 2 - manchas necróticas sem esporulação, 3 - pústulas esporulando com diâmetro < 300 µm, 4 - pústulas esporulando com diâmetro de 300 µm a 499 µm, 5 - pústulas esporulando com diâmetro de 500 µm a 800 µm, e 6 - pústulas esporulando com diâmetro > 800 µm.

Para avaliar a severidade de mancha angular foi utilizada uma escala de notas de nove graus, descrita por Amaro et al. (2007) em que: 1 - plantas sem sintomas da doença; 2 - presença de até 3% de lesões; 3 - presença de até 5% de lesões não-esporuladas; 4 - presença de lesões esporuladas, que cobrem aproximadamente 10% da área foliar; 5 - presença de várias lesões esporuladas entre 2 a 3 mm, que cobrem aproximadamente 10% a 15% da área foliar; 6 - presença de numerosas lesões esporuladas maiores que 3 mm, que cobrem de 15% a 20% da área foliar; 7 - presença de numerosas lesões esporuladas maiores que 3 mm, que cobrem de 20% a 25% da área foliar; 8 - presença de numerosas lesões esporuladas maiores que 3mm, que cobrem de 25% a 30% da área foliar, geralmente associadas a tecidos cloróticos, os quais podem coalescer e formar extensas áreas infectadas; 9 - sintomas severos da doença, resultando em queda prematura de folhas e morte.

A análise dos dados foi realizada utilizando os procedimentos descritos anteriormente na fase de avaliação de famílias do ciclo zero ( $C_0$ ). Inicialmente foram obtidas as análises de variância individuais para cada característica. Posteriormente, utilizando as médias dos tratamentos comuns às duas avaliações (gerações  $F_{5:6}$  e  $F_{5:7}$ ), foram obtidas as análises de variância conjuntas, para produtividade de grãos e notas de arquitetura de planta e aspecto de grãos. Nas análises, a fonte de variação tratamentos foi decomposta em famílias, testemunhas e no contraste famílias vs. testemunhas. Os parâmetros genéticos e fenotípicos foram obtidos utilizando os mesmos estimadores apresentados para o ciclo zero. No ciclo um, para obter as estimativas da variância genética, fenotípica e da interação famílias x gerações, nas análises conjuntas, utilizou-se a média harmônica do número de repetições.

Como no ciclo um ( $C_1$ ) as famílias foram extraídas na geração  $F_5$ , a variabilidade dentro é reduzida. Portanto, elas não foram utilizadas para extração de linhagens, como realizado no ciclo anterior. Assim, as famílias, após as avaliações constituíram as linhagens do ciclo um ( $C_1$ ).

#### **3.4. Progresso genético**

Como a avaliação das famílias nos dois ciclos de seleção foram realizadas em diferentes anos e gerações ( $F_{3:5}$  e  $F_{3:6}$  no ciclo zero e  $F_{5:6}$  e  $F_{5:7}$  no ciclo um), a estratégia utilizada para estimar o progresso genético (PG) com a seleção recorrente foi a comparação das linhagens obtidas no final de cada ciclo. Assim, foram selecionadas as 30 melhores linhagens do ciclo zero e as 30 melhores do ciclo um, para avaliação simultânea.

No ciclo zero as 30 linhagens foram selecionadas considerando principalmente a produtividade de grãos, sendo que entre as mais produtivas foram selecionadas apenas as que apresentaram nota de aspecto de grãos menor ou igual a 2,5. No ciclo um as 30 linhagens foram selecionadas considerando todas as características avaliadas (produtividade de grãos, aspecto de grãos, arquitetura de planta e severidade de ferrugem e mancha angular), utilizando o índice de seleção proposto por Mendes et al. (2009). Para obtenção do índice  $Z$  de Mendes et al. (2009) as variáveis são padronizadas e somadas. Como o aspecto de grãos, a arquitetura de planta e a severidade de ferrugem e mancha angular são avaliados por meio de notas, sendo que quanto menor a nota melhor a expressão do caráter, as escalas foram invertidas para obter o índice  $Z$  de Mendes et al. (2009). Assim, a linhagem com o maior valor do somatório dos valores padronizados possui o melhor desempenho considerando todas as características

simultaneamente. As características foram consideradas com pesos iguais. Contudo, como o aspecto de grãos é uma característica limitante para recomendação de uma nova cultivar, foram selecionadas apenas linhagens que apresentaram notas abaixo de 2,5.

As 60 linhagens (30 do ciclo C<sub>0</sub> e 30 do ciclo C<sub>1</sub>) foram avaliadas juntamente com as testemunhas Vermelinho e Ouro Vermelho no Delineamento de Blocos Casualizados (DBC) com três repetições e parcelas de duas linhas de dois metros. Além da produtividade de grãos em kg/ha, avaliou-se o aspecto de grãos, a arquitetura da planta e a severidade de ferrugem e mancha angular, utilizando as escalas de notas descritas anteriormente. Os detalhes experimentais são apresentados na tabela 5.

**Tabela 5.** Detalhes experimentais da avaliação das linhagens obtidas nos dois ciclos de seleção recorrente

Detalhes	Experimentos		
	1	2	3
Nº de linhagens C <sub>0</sub>	30	30	30
Nº de linhagens C <sub>1</sub>	30	30	30
Nº de testemunhas	2	2	2
Ano agrícola	2008	2009	2009
Safra	Inverno	Seca	Inverno
Delineamento	DBC	DBC	DBC
Repetições	3	3	3
Tamanho de parcela	2 linhas de 2m	2 linhas de 2m	2 linhas de 2m
Caracteres avaliados	Produtividade	Produtividade	Produtividade
	Aspecto de grãos	Aspecto de grãos	Aspecto de grãos
	Arquitetura de planta	Arquitetura de planta	Arquitetura de planta
	Ferrugem	Ferrugem	Ferrugem
	- <sup>1</sup>	Mancha angular	Mancha angular

<sup>1</sup> Não ocorreu mancha angular no experimento 1.

As observações foram submetidas à análise de variância (ANOVA) por ambiente considerando os efeitos de tratamentos e a média como fixos (Cruz et al., 2004), conforme o modelo estatístico:

$$Y_{ij} = m + t_i + r_j + e_{ij}$$

em que:

$Y_{ij}$ : valor observado na parcela que recebeu o tratamento  $i$  dentro do bloco  $j$ ;

$m$ : média geral do experimento;

$t_i$ : efeito do tratamento  $i$ , sendo  $i = 1, 2, 3, \dots, 61$  e  $62$ ;

$r_j$ : efeito da repetição  $j$ , sendo  $j = 1, 2$  e  $3$ ;

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

Posteriormente, utilizando as médias dos tratamentos foi obtida a análise de variância conjunta, para cada característica, conforme procedimento descrito por Ramalho et al. (2005b). A fonte de variação tratamentos foi decomposta em linhagens, testemunhas e no contraste linhagens vs. testemunhas. A fonte de variação linhagens também foi decomposta em linhagens do ciclo zero ( $C_0$ ), linhagens do ciclo um ( $C_1$ ) e no contraste  $C_0$  vs.  $C_1$ .

As médias das linhagens foram comparadas com a média da cultivar Ouro Vermelho, pelo teste de Dunnett a 1% de probabilidade.

O progresso genético (PG) com a seleção recorrente foi obtido utilizando o seguinte estimador:

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

em que:

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

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

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Condução dos experimentos do ciclo zero (C<sub>0</sub>)

#### 4.1.1. Avaliação e seleção das famílias do ciclo zero (C<sub>0</sub>)

Foi detectada diferença significativa ( $P < 0,01$ ) para a fonte de variação famílias nas três gerações avaliadas, evidenciando a existência de variabilidade (Tabela 6). É preciso enfatizar que o efeito de gerações é confundido com o de anos e o de épocas de semeadura (safra), já que as gerações, evidentemente, foram avaliadas em épocas diferentes. A interação famílias x gerações foi significativa ( $P < 0,01$ ), indicando que as famílias apresentaram comportamento inconsistente nas diferentes gerações e que as avaliações devem ser realizadas em vários ambientes (Tabela 6).

Na tabela 7 são apresentadas as estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos referentes às 243 famílias avaliadas no ciclo zero. É importante destacar que o limite inferior da variância genética, em todas as situações, foi positivo, indicando que a variância genética entre as famílias é diferente de zero (Tabela 7). A variabilidade entre as famílias também foi confirmada pelas estimativas da herdabilidade ( $h^2$ ) que, em todos os casos, foi diferente de zero, a 95% de confiança, uma vez que o limite inferior da  $h^2$  foi positivo. A estimativa do componente da variação genética da interação famílias x gerações ( $\hat{\sigma}_{(P \times G)}^2$ ) foi muito expressiva e superior a variância genética ( $\hat{\sigma}_p^2$ ).

**Tabela 6.** Resumo das análises individuais e análise conjunta da produtividade (kg/ha) obtidas nas avaliações de famílias F<sub>3:5</sub>, F<sub>3:6</sub> e F<sub>3:7</sub> do ciclo zero (C<sub>0</sub>), nas safras da seca e inverno de 2002 e seca de 2003, em Coimbra, MG

Análises Individuais					
Fonte de variação	GL	Quadrado Médio (QM)			P
		Seca 2002	Inverno 2002	Seca 2003	
Famílias	242	343159,4	762054,8	416918,1	0,000
Erro efetivo	465	154962,2	53861,6	242535,7	
Média		3056,9	1837,8	2428,6	
Média das famílias		3065,8	1818,1	2432,5	
Vermelhinho		3197,6	1174,6	2443,9	
CV (%)		12,9	12,6	20,3	
Eficiência do látice		109,2	169,4	180,1	

Análise Conjunta			
Fonte de Variação	GL	QM	P
Gerações	2	285447951,8	0,000
Tratamentos	255	618276,5	0,006
Famílias (F)	242	610150,9	0,007
Testemunhas (T)	12	814733,0	0,000
Famílias vs. Testemunhas	1	227183,5	0,220
Gerações x Tratamentos	510	466461,9	0,000
Gerações x Famílias	484	455990,7	0,000
Gerações x Testemunhas	24	437656,2	0,000
Gerações x F vs. T	2	3346143,8	0,000
Erro médio	1395	150453,2	
Média		2441,1	
Média das famílias		2438,8	
Vermelhinho		2272,0	
CV (%)		16,2	

**Tabela 7.** Estimativas da variância genética ( $\hat{\sigma}_P^2$ ), variância fenotípica ( $\hat{\sigma}_F^2$ ), variância da interação famílias x gerações ( $\hat{\sigma}_{(P \times G)}^2$ ) e herdabilidade ( $h^2$ ) para produtividade de grãos (kg/ha), obtidas na avaliação das famílias F<sub>3:5</sub>, F<sub>3:6</sub> e F<sub>3:7</sub> do ciclo zero (C<sub>0</sub>). Coimbra-MG

Parâmetros	Geração			Conjunta
	F <sub>3:5</sub>	F <sub>3:6</sub>	F <sub>3:7</sub>	
$\hat{\sigma}_P^2$	62732,4	236064,4	58127,5	17128,9
LI <sup>(1)</sup>	45825,6	196618,4	38438,5	8806,6
LS	91136,7	288759,6	98059,5	46715,2
$\hat{\sigma}_F^2$	114386,5	254018,3	138972,7	67794,5
$\hat{\sigma}_{(P \times G)}^2$	-	-	-	101845,8
$h^2$	54,8	92,9	41,8	25,3
LI <sup>(2)</sup>	43,9	91,2	27,8	7,4
LS	63,9	94,4	53,5	40,2

<sup>(1)</sup> Limites inferiores e superiores da variância genética, obtidos conforme Ramalho et al. (2005b)

<sup>(2)</sup> Limites inferiores e superiores da herdabilidade, obtidos conforme Knapp et al. (1985)

Após a avaliação das gerações  $F_{3:5}$  e  $F_{3:6}$  foram selecionadas as 17 famílias mais produtivas e com melhor aspecto de grãos, sendo uma de cada cruzamento (Tabela 8). Essas famílias foram utilizadas para compor o bloco de recombinação e obtenção da população do ciclo seguinte ( $C_1$ ). Apenas o cruzamento 18 - RVC068 (Tabela 1) não foi contemplado. As famílias desse cruzamento apresentaram baixo potencial produtivo e grãos fora do padrão comercial. Vale ressaltar que os genitores desse cruzamento também participaram de outras combinações (Tabela 1), portanto seus alelos não foram perdidos.

Considerando as três avaliações ( $F_{3:5}$ ,  $F_{3:6}$  e  $F_{3:7}$ ) é interessante observar que na média (2438,8 kg/ha) as famílias foram superiores a cultivar Vermelhinho (2272,0 kg/ha), única de grãos vermelhos utilizada pelos agricultores (Tabela 6). Esse é um indicativo da possibilidade de selecionar famílias com desempenho superior ao da testemunha padrão, visando à composição dos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU).

Das 243 famílias avaliadas, cinco foram promovidas aos ensaios de VCU ciclo 2003/2004 (Silva, 2005), convênio (UFLA, UFV, Epamig e Embrapa Arroz e Feijão), culminando com a recomendação de uma delas aos agricultores do estado de Minas Gerais, com o nome “Ouro Vermelho” (Carneiro et al. 2006).

**Tabela 8.** Médias de produtividade de grãos (kg/ha) das 17 famílias selecionadas para recombinação e obtenção da população do ciclo um ( $C_1$ )

Famílias	$F_{3:5}$	$F_{3:6}$	Média
RVC072-17	3689	2666	3177
RVC040-44	3684	3042	3363
RVC043-68	2941	1741	2341
RVC069-70	3186	1995	2590
RVC053-71	3002	2460	2731
RVC041-75	3390	2160	2775
RVC038-96	3131	1866	2499
RVC061-108	3366	2162	2764
RVC065-126	2726	1992	2359
RVC039-146	3009	2038	2523
RVC042-151	3346	2771	3059
RVC057-164	2639	2839	2739
RVC066-176	3232	2591	2911
RVC052-203	3235	2859	3047
RVC067-206	3519	1783	2651
RVC054-220	2497	2761	2629
RVC071-242	3103	2763	2933
Média das selecionadas	3158	2382	2770
Vermelhinho	3198	1175	2186

Vale lembrar que as famílias avaliadas no ciclo zero foram extraídas na geração  $F_3$  e avançadas pelo método do *bulk* dentro de famílias, sendo esperado que dentro delas possam ser selecionadas linhagens com desempenho superior ao da média da família. Assim, as linhagens obtidas no ciclo zero foram provenientes da seleção de plantas dentro das famílias ( $F_{3:7}$ ) mais produtivas e com melhor aspecto de grãos. Desta forma foram obtidas 154 linhagens dentro das melhores famílias do ciclo zero.

#### **4.1.2. Avaliação das linhagens do ciclo zero ( $C_0$ )**

Nas análises individuais (Tabela 9) observou-se, de modo geral, que as linhagens de um mesmo cruzamento não diferiram entre si quanto à produtividade de grãos e arquitetura de planta. Já a fonte de variação entre cruzamentos (grupos de linhagens), para todos os caracteres avaliados, foi significativa ( $P < 0,01$ ), indicando melhor desempenho de alguns cruzamentos.

Na análise conjunta (Tabela 10) observou-se que a interação linhagens x anos foi significativa ( $P < 0,01$ ) para produtividade de grãos, indicando que as linhagens não apresentaram desempenho consistente nos diferentes anos. Vale ressaltar que o mesmo fato ocorreu na fase de avaliação de famílias. A interação significativa linhagens x anos dificulta a seleção de linhagens promissoras em diferentes ambientes e evidencia que as avaliações devem ser realizadas em diferentes épocas.

**Tabela 9.** Resumo das análises individuais da produtividade de grãos (kg/ha) (PROD), notas de aspecto de grãos (AG) e arquitetura de planta (ARQ), obtidas na avaliação das linhagens do ciclo zero (C<sub>0</sub>) nos anos de 2006 e 2007, em Coimbra-MG

Fonte de Variação	GL	PROD - 2006		PROD - 2007		AG - 2007		ARQ - 2007	
		QM	P	QM	P	QM	P	QM	P
Tratamentos	168	205391,9	0,000	654562,2	0,000	2,44	0,000	0,54	0,000
Linhagens	153	182935,5	0,074	570500,2	0,000	0,86	0,000	0,49	0,000
Cruzamento 1	6	54134,8	0,903	60508,0	0,865	1,65	0,000	0,18	0,473
Cruzamento 2	19	94637,8	0,879	202295,0	0,129	0,14	0,001	0,14	0,818
Cruzamento 3	7	227981,9	0,159	153702,0	0,389	0,45	0,000	0,09	0,856
Cruzamento 4	9	152856,8	0,423	339447,7	0,015	0,07	0,327	0,12	0,779
Cruzamento 5	8	197964,2	0,232	739610,3	0,000	0,24	0,000	0,21	0,362
Cruzamento 6	9	262647,8	0,077	122855,9	0,579	0,07	0,274	0,55	0,003
Cruzamento 7	7	107434,7	0,655	333436,5	0,027	0,84	0,000	0,82	0,000
Cruzamento 8	3	67940,9	0,717	327936,7	0,082	0,03	0,703	0,22	0,337
Cruzamento 9	8	193969,7	0,242	129640,4	0,525	0,05	0,508	0,16	0,568
Cruzamento 10	8	58265,8	0,925	289164,2	0,047	0,11	0,062	0,06	0,949
Cruzamento 11	7	187893,6	0,269	585377,0	0,000	0,21	0,000	0,64	0,001
Cruzamento 12	8	65150,6	0,896	210242,2	0,179	0,07	0,310	0,61	0,001
Cruzamento 13	6	107343,7	0,633	251417,0	0,113	0,35	0,000	0,21	0,368
Cruzamento 14	8	223201,3	0,160	885972,0	0,000	0,28	0,000	0,28	0,175
Cruzamento 15	9	188927,7	0,258	116381,1	0,616	0,04	0,653	0,20	0,392
Cruzamento 16	7	69125,5	0,862	124391,0	0,546	0,32	0,000	0,53	0,008
Cruzamento 17	8	106579,9	0,682	251720,9	0,090	0,05	0,629	0,09	0,869
Entre cruzamentos	16	1749320,4	0,000	5455408,4	0,000	6,04	0,000	4,68	0,000
Testemunhas	14	224005,9	0,109	1253009,2	0,000	5,09	0,000	0,81	0,000
Linhagens vs. Testemunhas	1	3380635,9	0,000	5137772,6	0,000	206,15	0,000	4,19	0,000
Resíduo	300 (336) <sup>1</sup>	149668,0		145532,6		0,06		0,19	
Média		2361		3333		2,12		3,58	
Média das linhagens		2387		3364		1,92		3,61	
Ouro Vermelho		2116		3440		1,37		3,69	
CV (%)		16,4		11,4		11,49		12,27	
Eficiência do Látice		133,3		101,3		-		107,1	

<sup>1</sup> Valor entre parênteses refere-se ao número de GL do erro da característica aspecto de grãos, analisada em DBC.

**Tabela 10.** Resumo da análise de variância conjunta da produtividade de grãos (kg/ha), obtida na avaliação das linhagens do ciclo zero em Coimbra MG

Fonte de variação	GL	QM	P
Anos	1	239339003,6	0,000
Tratamentos	168	475310,8	0,000
Linhagens	153	385411,6	0,000
Cruzamento 1	6	89529,5	0,725
Cruzamento 2	19	214501,6	0,096
Cruzamento 3	7	238645,4	0,127
Cruzamento 4	9	331326,3	0,018
Cruzamento 5	8	410137,9	0,005
Cruzamento 6	9	280861,0	0,048
Cruzamento 7	7	168478,9	0,335
Cruzamento 8	3	264181,4	0,147
Cruzamento 9	8	288896,0	0,049
Cruzamento 10	8	276795,1	0,061
Cruzamento 11	7	406816,8	0,007
Cruzamento 12	8	169245,7	0,329
Cruzamento 13	6	152746,3	0,401
Cruzamento 14	8	489179,9	0,001
Cruzamento 15	9	122955,4	0,585
Cruzamento 16	7	136392,8	0,487
Cruzamento 17	8	215287,8	0,169
Entre Cruzamentos	16	1536329,7	0,000
Testemunhas	14	889816,8	0,000
Linhagens vs. Testemunhas	1	8426810,1	0,000
Tratamentos x Anos	168	384643,3	0,000
Linhagens x Anos	153	367524,8	0,000
Cruzamento 1 x Anos	6	25113,3	0,984
Cruzamento 2 x Anos	19	82431,2	0,934
Cruzamento 3 x Anos	7	143038,5	0,452
Cruzamento 4 x Anos	9	160978,1	0,367
Cruzamento 5 x Anos	8	527436,6	0,000
Cruzamento 6 x Anos	9	104642,7	0,700
Cruzamento 7 x Anos	7	272392,3	0,076
Cruzamento 8 x Anos	3	131696,2	0,444
Cruzamento 9 x Anos	8	34714,0	0,984
Cruzamento 10 x Anos	8	70634,9	0,871
Cruzamento 11 x Anos	7	366453,7	0,016
Cruzamento 12 x Anos	8	106145,4	0,674
Cruzamento 13 x Anos	6	206014,4	0,213
Cruzamento 14 x Anos	8	619993,4	0,000
Cruzamento 15 x Anos	9	182353,3	0,270
Cruzamento 16 x Anos	7	57123,7	0,910
Cruzamento 17 x Anos	8	143013,0	0,459
Entre cruzamentos x Anos	16	1935182,7	0,000
Testemunhas x Anos	14	587449,3	0,000
Linhagens vs. Testemunhas x Anos	1	91512,2	0,430
Erro médio	600	147600,3	
Média das linhagens	2876 kg/ha		
Ouro Vermelho	2778 kg/ha		
Ouro Negro	2780 kg/ha		
CV	12,6%		

No desdobramento da fonte de variação linhagens x anos, observou-se que a interação entre linhagens de cada cruzamento x anos foi não significativa, na maioria dos casos (Tabela 10). Já a fonte de variação entre cruzamentos x anos foi significativa ( $P < 0,01$ ). Ainda na Tabela 10, observando a média das linhagens (2876 kg/ha) percebe-

se a superioridade delas em relação a cultivar Ouro Vermelho (2778 kg/ha) e mesmo frente a cultivar Ouro Negro (2780 kg/ha), considerada referência em produtividade.

Pelo teste de Dunnett, a 5% de probabilidade, 151 linhagens (98%) apresentaram média de produtividade de grãos igual ou superior à cultivar Ouro Vermelho. Quanto ao aspecto de grãos, as notas variaram de 1,1 a 3,6, sendo que 89 linhagens (57,8%) apresentaram nota inferior a dois, estatisticamente igual à nota da testemunha padrão Ouro Vermelho (1,4). É importante ressaltar que o aspecto dos grãos é uma característica limitante para a recomendação de uma cultivar de feijão, uma vez que os consumidores são muito exigentes quanto à aparência dos grãos. Portanto, chama a atenção o número de linhagens de grãos vermelhos com potencial para serem incluídas nos ensaios de VCU. Já para arquitetura de planta apenas quatro linhagens apresentaram melhor arquitetura de planta, quando comparadas à testemunha Ouro Vermelho (Dunnett, 5%).

A superioridade das linhagens em relação à média das famílias do ciclo zero pode ser visualizada pelo desvio em relação às testemunhas comuns, uma vez que as avaliações foram realizadas em anos diferentes e há o efeito ambiental e da interação na expressão do caráter. Na tabela 11 são apresentadas as médias de produtividade de grãos de cada cruzamento e os desvios em relação à média das testemunhas comuns (Vermelhinho, Vermelho 2157, AFR-140, Pérola, Talismã e Ouro Negro). Observou-se que os desvios das médias das linhagens, em relação à média das testemunhas comuns, foram, na maioria dos casos positivos, enquanto que os desvios das médias das famílias em relação à média das testemunhas comuns foram, geralmente, negativos, evidenciando que a seleção dentro das famílias foi eficiente para obtenção de linhagens mais produtivas. Como o número de linhagens e famílias avaliadas foi diferente, foram obtidos os desvios das médias das 10, 20 e 50 famílias e linhagens mais produtivas em relação à média das testemunhas comuns. Nesses casos os desvios foram sempre positivos, mas a superioridade das linhagens em relação às famílias também foi evidenciada, uma vez que, os desvios das médias das linhagens, em relação à média das testemunhas comuns, foram maiores do que os desvios das famílias em relação à média das testemunhas comuns (Tabela 11).

**Tabela 11.** Médias da produtividade de grãos (kg/ha) e desvios em relação a média das testemunhas comuns à avaliação de famílias e linhagens do ciclo C<sub>0</sub>. Coimbra, MG

Cruzamento	Famílias do ciclo C <sub>0</sub>				Linhagens do ciclo C <sub>0</sub>					
	NF	Média	TC	Desvio	NL	Média	TC	Desvio	NL (20+)	NL (10+)
1	29	2506	2537	-31	7	2791	2697	94	0	0
2	33	2642	2537	105	20	2884	2697	187	2	1
3	7	2399	2537	-138	8	2811	2697	114	0	0
4	1	2562	2537	25	10	2944	2697	247	2	2
5	4	2395	2537	-142	9	2341	2697	-356	0	0
6	20	2433	2537	-103	10	2918	2697	221	1	0
7	6	2435	2537	-102	8	2949	2697	251	1	0
8	14	2244	2537	-293	4	3006	2697	309	1	0
9	15	2275	2537	-262	9	2843	2697	146	1	0
10	18	2322	2537	-215	9	2834	2697	137	1	1
11	11	2429	2537	-108	8	3029	2697	332	3	2
12	7	2341	2537	-196	9	2963	2697	266	1	0
13	14	2316	2537	-221	7	2791	2697	94	0	0
14	22	2457	2537	-79	9	2983	2697	286	2	1
15	13	2453	2537	-84	10	3103	2697	406	4	2
16	8	2452	2537	-85	8	2708	2697	10	0	0
17	18	2519	2537	-18	9	2973	2697	276	1	1
18	3	2268	2537	-269	-	-	-	-	-	-
Média	-	2439	2537	-98	-	2876	2697	178	-	-
Média(10+)	-	2998	2537	461	-	3289	2697	592	-	-
Média(20+)	-	2926	2537	389	-	3250	2697	553	-	-
Média(50+)	-	2808	2537	271	-	3148	2697	451	-	-

TC - média das testemunhas comuns; NF - número de famílias avaliadas; NL - número de linhagens avaliadas; NL(20+) - número de linhagens entre as 20 mais produtivas; NL(10+) - número de linhagens entre as 10 mais produtivas; Média(10+) - média das 10 mais produtivas; Média(20+) - média das 20 mais produtivas; Média(50+) - média das 50 mais produtivas;

Os cruzamentos que mais se destacaram para produtividade de grãos foram os de número 11 – RVC042 (Vermelhinho//Vermelhinho/IAPAR81) e 15 - RVC067 (Vermelhinho/LR720982//Vermelhinho/AB136). Esses cruzamentos, além de apresentarem alta média, também foram os que apresentaram o maior número de linhagens entre as mais produtivas. Destaque pode ser dado para o cruzamento 15 - RVC067, que das dez linhagens avaliadas, quatro ficaram entre as 20 mais produtivas (20+) e duas entre as dez mais (10+) (Tabela 11). Outros cruzamentos que merecem destaque são o 4 - RVC069 (Vermelhinho/AN9022180//Vermelhinho/Vermelho2157) e o 17 - RVC071 (Vermelhinho/AB136//Vermelhinho/Vermelho2157), que além de apresentarem alta produtividade tem como um de seus genitores a cultivar Vermelho 2157, que é fonte de resistência ao crestamento bacteriano comum e ao mosaico comum, doenças importantes no feijoeiro.

Pelos resultados obtidos na avaliação do ciclo zero de seleção recorrente pode-se inferir que o método *bulk* dentro de famílias derivadas de plantas F<sub>3</sub> mostrou-se promissor como estratégia de melhoramento do feijoeiro. Nesta etapa, foram obtidas

linhagens de feijão vermelho superiores às cultivares Vermelhinho e Ouro Vermelho, com potencial para serem incluídas em futuros ensaios de VCU, visando recomendação no estado de Minas Gerais.

## 4.2. Condução dos experimentos do ciclo um (C<sub>1</sub>)

### 4.2.1. Avaliação e seleção das famílias do ciclo um (C<sub>1</sub>)

Além da produtividade de grãos, as famílias do ciclo um (C<sub>1</sub>) foram avaliadas quanto ao aspecto de grãos, arquitetura de planta e severidade de ferrugem e mancha angular. Para todos os caracteres, foi detectada diferença significativa ( $P < 0,01$ ) para a fonte de variação famílias (Tabelas 12 e 13), evidenciando a existência de variabilidade e condição favorável para o sucesso com a seleção recorrente. Chama atenção a presença de variabilidade entre as famílias para resistência a ferrugem, mancha angular e arquitetura de planta, uma vez que, as famílias no ciclo anterior foram selecionadas apenas para produtividade de grãos. Esse é um indicativo de que o programa de seleção recorrente está sendo eficiente na liberação da variabilidade para várias características e evidenciando a possibilidade de selecionar famílias que reúnam vários fenótipos desejáveis.

**Tabela 12.** Resumo das análises individuais da produtividade de grãos (kg/ha) (PROD) e notas de aspecto de grãos (AG), arquitetura de planta (ARQ) e severidade de ferrugem (FE), obtidas na avaliação das famílias F<sub>5;6</sub> do ciclo um (C<sub>1</sub>) na safra do inverno de 2007, em Coimbra-MG

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio (QM) <sup>2</sup>			
		PROD	AG	ARQ	FE
Tratamento	399	561546,2**	2,20**	0,63**	1,68**
Famílias	379	532405,5**	1,68**	0,53**	1,70**
Testemunhas	19	950262,2**	7,35**	2,45**	1,23**
Famílias vs. Testemunhas	1	4220326,7**	104,22**	6,35**	0,04 <sup>ns</sup>
Erro efetivo	361 (798) <sup>1</sup>	241188,5	0,14	0,29	0,38
Média		3414	2,57	3,73	2,69
Média das Famílias		3431	2,5	3,75	2,68
Ouro Vermelho		3420	1,67	4,02	3,58
Vermelhinho		3024	2,17	4,11	3,54
CV (%)		14,4	14,6	14,5	22,8
Eficiência do Látice		101,5	-	106,8	104,6

<sup>1</sup> Valor entre parênteses refere-se ao número de GL do erro da característica aspecto de grãos, analisada em DBC.

<sup>2</sup> <sup>ns</sup> e \*\* não significativo e significativo pelo teste F a 1% de probabilidade, respectivamente.

**Tabela 13.** Resumo das análises individuais da produtividade de grãos (kg/ha) (PROD) e notas de aspecto de grãos (AG), arquitetura de planta (ARQ) e severidade de mancha angular (MA), obtidas na avaliação das famílias F<sub>5;7</sub> do ciclo um (C<sub>1</sub>) na safra da seca de 2008, em Coimbra-MG

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio (QM) <sup>2</sup>			
		PROD	AG	ARQ	MA
Tratamento	168	347529,9**	0,79**	0,26**	2,30**
Famílias	159	335791,6**	0,55**	0,21**	2,36**
Testemunhas	8	346680,3*	5,50**	1,25**	1,10 <sup>ns</sup>
Famílias vs. Testemunhas	1	2220543,8**	1,37**	0,01 <sup>ns</sup>	1,32 <sup>ns</sup>
Erro efetivo	300 (336) <sup>1</sup>	167212,4	0,12	0,10	1,35
Média		3361,5	2,23	3,79	5,06
Média das Famílias		3345,9	2,21	3,79	5,07
Ouro Vermelho		3434,7	1,50	3,66	5,32
Vermelhinho		3397,2	1,83	4,16	4,41
CV (%)		12,2	15,6	8,3	22,9
Eficiência do Látice		- <sup>3</sup>	- <sup>4</sup>	100,1	116,6

<sup>1</sup> Valor entre parênteses refere-se ao número de GL do erro das características produtividade e aspecto de grãos.

<sup>2</sup> <sup>ns</sup>, \*\* e \* não significativo, significativo pelo teste F a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

<sup>3</sup> Não houve eficiência do látice para produtividade de grãos.

<sup>4</sup> A análise de aspecto de grãos foi realizada em DBC.

Na análise conjunta também foi detectada diferença significativa entre as famílias para produtividade de grãos (P<0,05), notas de arquitetura de planta e aspecto de grãos (P<0,01) (Tabela 14). Para as três características, observou-se que a interação famílias x gerações foi significativa (P<0,01), indicando que as famílias apresentaram comportamento inconsistente nas diferentes gerações. Vale lembrar que a interação famílias x gerações também foi significativa para produtividade de grãos no ciclo zero.

A contribuição da variância da interação famílias x gerações em relação à variância genética ( $\hat{\sigma}_{(P \times G)}^2 / \hat{\sigma}_P^2$ ) foi mais expressiva para arquitetura de planta (72,5%) do que para aspecto de grãos (41,9%) (Tabela 15). Já para produtividade de grãos a estimativa da variância da interação famílias x gerações foi expressiva e superior a variância genética, nos dois ciclos de seleção.

As estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos (Tabela 15) também evidenciam a existência de variabilidade entre as famílias, para todos os caracteres avaliados, corroborando com os resultados das análises de variância. Veja que o limite inferior da variância genética, em todas as situações, foi positivo, indicando que a variância genética entre as famílias do ciclo um deve ser diferente de zero, a 95% de confiança. Assim como no ciclo zero, as estimativas de h<sup>2</sup> para produtividade de grãos foram acima de 40% nas diferentes gerações e superior a 20% na análise conjunta, indicando que não houve redução da variabilidade. Para as demais características as

estimativas de  $h^2$  foram de média a alta magnitude, evidenciando a existência de variabilidade entre as famílias e condição favorável para realizar a seleção. As estimativas positivas do limite inferior da  $h^2$  indicam que as estimativas obtidas, a 95% de confiança, devem ser diferentes de zero.

**Tabela 14.** Resumo das análises de variância conjunta da produtividade de grãos (kg/ha) e notas de aspecto de grão e arquitetura de planta, referentes às famílias comuns avaliadas nas gerações  $F_{5:6}$  e  $F_{5:7}$ , safras do inverno de 2007 e seca de 2008 respectivamente. Coimbra-MG

FV	Produtividade (kg/ha)			Aspecto de grãos			Arquitetura de planta		
	GL	QM	P	GL	QM	P	GL	QM	P
Gerações (G)	1	19707666,6	0,000	1	0,20	0,227	1	0,01	0,791
Tratamento	168	434539,3	0,032	168	1,51	0,000	168	0,55	0,000
Famílias (F)	159	439539,0	0,030	159	1,03	0,000	159	0,47	0,000
Testemunhas (T)	8	387715,6	0,313	8	10,78	0,000	8	2,16	0,000
F vs. T	1	14024,5	0,841	1	3,10	0,001	1	0,67	0,113
Gerações x Tratamentos	168	327851,4	0,000	168	0,28	0,000	168	0,27	0,015
G x Famílias	159	313537,5	0,000	159	0,29	0,000	159	0,27	0,007
G x Testemunhas	8	263259,4	0,250	8	0,05	0,999	8	0,05	0,985
G x F vs. T	1	3120497,5	0,000	1	0,01	0,999	1	0,47	0,129
Erro Médio	697	205527,1		1134	0,13		661	0,20	
Média		3517,4			2,21			3,79	
Média das famílias		3516,4			2,20			3,78	
Ouro Vermelho		3427,0			1,60			3,80	
CV (%)		10,5			13,7			8,8	

**Tabela 15.** Estimativas da variância genética ( $\hat{\sigma}_P^2$ ), variância fenotípica ( $\hat{\sigma}_F^2$ ), variância da interação famílias x gerações ( $\hat{\sigma}_{(PxG)}^2$ ) e herdabilidade ( $h^2$ ) na média das famílias, para produtividade de grãos (kg/ha) (PRO) e notas de arquitetura de planta (ARQ), aspecto de grãos (AG) e severidade de ferrugem (FE) e mancha angular (MA), obtidas na avaliação das famílias  $F_{5:6}$  e  $F_{5:7}$  do ciclo um ( $C_1$ ). Coimbra-MG

Geração	Parâmetros Genéticos e Fenotípicos								
	$\hat{\sigma}_P^2$	LI <sup>(1)</sup>	LS	$\hat{\sigma}_F^2$	$\hat{\sigma}_{(PxG)}^2$	$h^2$	LI <sup>(2)</sup>	LS	
PRO	$F_{5:6}$	145608,5	111387,9	198524,4	266202,7	-	54,7	44,4	63,1
	$F_{5:7}$	56193,1	36966,8	95615,7	111930,5	-	50,2	35,4	62,1
	Conjunta	26250,3	21316,1	33130,7	91570,6	45004,3	28,7	2,6	47,8
AG	$F_{5:6}$	0,513	0,442	0,603	0,560	-	91,7	90,1	93,0
	$F_{5:7}$	0,142	0,109	0,193	0,182	-	78,2	71,7	83,4
	Conjunta	0,124	0,101	0,157	0,172	0,052	71,8	61,5	79,4
ARQ	$F_{5:6}$	0,117	0,084	0,174	0,263	-	45,3	32,9	55,4
	$F_{5:7}$	0,036	0,024	0,059	0,069	-	52,4	37,8	64,0
	Conjunta	0,040	0,032	0,050	0,097	0,029	42,6	21,5	57,9
FE	$F_{5:6}$	0,663	0,554	0,808	0,851	-	77,6	72,6	81,8
MA	$F_{5:7}$	0,339	0,209	0,646	0,788	-	42,8	25,3	56,7

<sup>(1)</sup> Limites inferiores e superiores da variância genética, obtidos conforme Ramalho et al. (2005b)

<sup>(2)</sup> Limites inferiores e superiores da herdabilidade obtidos, conforme Knapp et al. (1985)

As médias das 20 famílias selecionadas para recombinação e obtenção do ciclo seguinte (C<sub>II</sub>) são apresentadas na tabela 16. Essas famílias foram selecionadas considerando todas as características avaliadas (produtividade de grãos, aspecto de grãos, arquitetura de planta e severidade de ferrugem e mancha angular), utilizando o índice de seleção de Mendes et al. (2009). Como o aspecto de grãos, a arquitetura de planta e a severidade de ferrugem e mancha angular foram avaliados por meio de notas, sendo que, quanto menor a nota melhor a expressão do caráter, as escalas foram invertidas para obter o índice Z de Mendes et al. (2009). As características foram consideradas com pesos iguais. Assim a família que apresentou o maior valor do índice Z (somatório das características padronizadas) dentro de cada cruzamento foi selecionada para a fase de recombinação.

Pode-se observar o potencial das famílias selecionadas (Tabela 16) para todas as características avaliadas. Para aspecto de grãos, por exemplo, as notas variaram de 1,4 a 2,7, mostrando que foi possível selecionar famílias com nota inferior à da cultivar Ouro Vermelho (1,6), sendo que, na média, a nota das famílias selecionadas foi inferior a dois (1,9). Para mancha angular, na média (4,9) as famílias selecionadas apresentaram notas inferiores à da cultivar Ouro Vermelho (5,3) e quatro delas apresentaram notas inferiores a 4,0, indicando bom nível de resistência a esta doença. Também chama a atenção o bom desempenho das famílias selecionadas quanto à resistência a ferrugem. Já para arquitetura de planta percebe-se que a variabilidade não foi suficiente para selecionar plantas de porte ereto, uma vez que, as notas para essa característica variaram de 2,6 a 4,4. Esse é um indicativo de que será necessário acrescentar no bloco de cruzamentos, para obtenção dos ciclos seguintes, genitores de porte ereto, visando aumentar a variabilidade e permitir a obtenção de linhagens de grãos vermelhos com boa arquitetura de planta.

Para produtividade de grãos, a média das famílias selecionadas (3770 kg/ha) foi superior a média da cultivar Ouro Vermelho (3427kg/ha). Como as famílias no ciclo um foram selecionadas na geração F<sub>5</sub> e avaliadas por mais duas gerações, elas podem ser consideradas linhagens. Portanto, no ciclo um de seleção recorrente foi possível selecionar linhagens de grãos vermelhos com potencial para inclusão nos ensaios de VCU para Minas Gerais (Tabela 16).

**Tabela 16.** Médias de produtividade de grãos (kg/ha) (PROD) e notas de aspecto de grãos (AG), arquitetura de planta (ARQ) e severidade de ferrugem (FE) e mancha angular (MA), das 20 famílias selecionadas para recombinação e obtenção da população do ciclo dois (CII)

Família	PROD	AG	ARQ	FE	MA
RVCI284-2-2	3611	1,8	3,7	1,5	5,2
RVCI285-1-20	3964	1,4	3,8	3,0	3,9
RVCI286-6-44	3754	1,9	3,8	2,5	5,8
RVCI287-5-62	3414	1,7	3,9	1,2	4,1
RVCI288-10-86	4155	1,6	4,2	2,4	4,4
RVCI289-4-99	3717	2,1	4,1	2,8	4,0
RVCI290-12-126	3771	2,3	3,7	3,0	5,1
RVCI291-17-150	4206	1,6	3,6	2,5	6,4
RVCI292-7-159	3438	1,6	4,3	3,0	4,5
RVCI293-17-188	3723	2,0	4,4	2,6	4,6
RVCI294-9-199	3811	2,5	3,0	2,6	6,1
RVCI295-5-214	3968	1,9	3,6	2,5	5,2
RVCI296-16-244	3453	1,7	3,8	3,0	3,7
RVCI297-12-259	4127	2,1	4,3	2,0	3,9
RVCI298-3-269	3701	1,9	3,6	2,0	3,6
RVCI299-11-296	3490	1,7	3,6	3,4	5,1
RVCI300-9-313	3916	1,7	3,8	2,2	4,2
RVCI301-19-342	3285	2,3	3,7	2,0	6,8
RVCI302-12-354	3952	2,7	4,0	2,5	5,1
RVCI303-4-365	3943	1,9	3,5	1,1	5,7
Média selecionadas	3770	1,9	3,8	2,4	4,9
Ouro Vermelho	3427	1,6	3,8	3,6	5,3
Vermelhinho	3211	2,0	4,1	3,5	4,4

Como a avaliação das famílias nos dois ciclos de seleção foi realizada em diferentes anos e, além disso, em gerações diferentes, a comparação entre as médias das famílias dos dois ciclos não é adequada. Sendo assim, uma alternativa para estimar o progresso genético com a seleção recorrente é a comparação das linhagens obtidas no final de cada ciclo de seleção.

#### 4.3. Progresso genético

A avaliação das famílias nos dois ciclos de seleção recorrente foi realizada em diferentes anos e gerações ( $F_{3:5}$  e  $F_{3:6}$  no ciclo zero e  $F_{5:6}$  e  $F_{5:7}$  no ciclo um). Nesse caso, a estratégia utilizada para estimar o progresso genético com a seleção recorrente foi a comparação das linhagens obtidas no final de cada ciclo. Para isso, foram selecionadas as 30 melhores linhagens obtidas nos dois ciclos de seleção, para avaliação simultânea.

Nas análises individuais, observou-se efeito significativo de linhagens ( $P < 0,01$ ) para todas as características avaliadas, nos três ambientes, exceto para arquitetura de planta ( $P < 0,05$ ) no inverno de 2009 (Tabelas 17, 18 e 19). Também foi verificado para a

maioria dos caracteres avaliados, efeito significativo ( $P < 0,01$ ) para linhagens do ciclo zero e do ciclo um, nos três ambientes. O contraste  $C_0$  vs.  $C_1$ , para produtividade de grãos, foi significativo ( $P < 0,01$ ) nos experimentos conduzidos na safra do inverno. Já na safra da seca, não foi detectada diferença significativa entre a média das linhagens do ciclo zero e a média das linhagens do ciclo um. O mesmo foi observado para notas de aspecto de grãos. Para arquitetura de planta não foi detectada diferença significativa para o contraste  $C_0$  vs.  $C_1$ , nos três ambientes. Para severidade de ferrugem e mancha angular o contraste  $C_0$  vs.  $C_1$  foi significativo ( $P < 0,01$ ), em todos os ambientes. Efeito significativo para o contraste  $C_0$  vs.  $C_1$  indica que a média das linhagens do ciclo zero foi diferente da média das linhagens do ciclo um.

Ainda nas análises individuais foi verificado que o contraste linhagens vs. testemunhas foi não significativo para notas de aspecto de grãos, nos três ambientes, indicando que a média das famílias não diferiu da média das testemunhas Ouro Vermelho e Vermelhinho (Tabelas 17, 18 e 19). Para produtividade de grãos o contraste linhagens vs. testemunhas foi não significativo apenas na safra da seca de 2009. Já para notas de severidade de ferrugem e mancha angular a fonte de variação linhagens vs. testemunhas foi significativa ( $P < 0,01$ ) em todos os ambientes, indicando que a média das linhagens foi menor que a média das testemunhas.

**Tabela 17.** Resumo das análises de variância individuais da produtividade (kg/ha) (PROD) e notas de aspecto de grãos (AG), arquitetura de planta (ARQ) e severidade de ferrugem (FE), obtidas na avaliação das linhagens do programa de seleção recorrente na safra do inverno de 2008. Coimbra-MG

FV	GL	PROD		AG		ARQ		FE	
		QM	P	QM	P	QM	P	QM	P
Tratamentos	61	927626,6	0,000	0,33	0,000	0,87	0,000	9,23	0,000
Linhagens (L)	59	920451,4	0,000	0,33	0,000	0,87	0,000	9,04	0,000
$C_0$	29	824795,0	0,000	0,25	0,000	0,52	0,000	10,39	0,000
$C_1$	29	962759,4	0,000	0,35	0,000	1,24	0,000	5,51	0,000
$C_0$ vs. $C_1$	1	2467554,7	0,000	2,45	0,000	0,56	0,060	72,20	0,000
Testemunhas (T)	1	180821,8	0,344	0,38	0,056	0,17	0,296	0,67	0,159
L vs. T	1	2097765,3	0,001	0,01	0,752	1,15	0,007	29,25	0,000
Erro	122	198643,5		0,10		0,16		0,33	
Média		2869		2,3		3,7		3,2	
Média $C_0$		2771		2,4		3,8		3,7	
Média $C_1$		3006		2,2		3,7		2,5	
Ouro Vermelho		2461		2,0		4,0		5,0	
Vermelhinho		2114		2,5		4,3		5,7	
CV (%)		15,5		14,0		10,6		18,1	

**Tabela 18.** Resumo das análises individuais da produtividade (kg/ha) (PROD) e notas de aspecto de grãos (AG), arquitetura de planta (ARQ) e severidade de ferrugem (FE) e mancha angular (MA), obtidas na avaliação das linhagens do programa de seleção recorrente na safra da seca de 2009. Coimbra-MG

FV	GL	PROD		AG		ARQ		FE		MA	
		QM	P	QM	P	QM	P	QM	P	QM	P
Tratamentos	61	221763,0	0,000	0,51	0,000	0,42	0,000	4,87	0,000	1,68	0,000
Linhagens (L)	59	223792,2	0,000	0,53	0,000	0,43	0,000	4,66	0,000	1,62	0,000
C <sub>0</sub>	29	245268,9	0,001	0,62	0,000	0,40	0,002	5,41	0,000	1,54	0,008
C <sub>1</sub>	29	205964,6	0,008	0,45	0,000	0,46	0,000	2,59	0,000	1,33	0,041
C <sub>0</sub> vs. C <sub>1</sub>	1	117969,9	0,296	0,23	0,170	0,56	0,085	43,02	0,000	12,27	0,000
Testemunhas (T)	1	560,7	0,943	0,04	0,584	0,04	0,655	0,67	0,296	0,67	0,372
L vs T	1	323242,4	0,085	0,07	0,480	0,01	0,828	21,45	0,000	6,13	0,006
Erro	122	109206,2		0,13		0,19		0,58		0,81	
Média		1784		2,5		4,0		2,5		6,7	
Média C <sub>0</sub>		1766		2,6		4,0		2,9		6,9	
Média C <sub>1</sub>		1817		2,5		4,1		1,9		6,4	
Ouro Vermelho		1565		2,3		4,2		4,0		7,3	
Vermelhinho		1546		2,5		4,0		4,7		8,0	
CV (%)		18,5		14,1		10,7		30,9		13,5	

**Tabela 19.** Resumo das análises individuais da produtividade (kg/ha) (PROD) e notas de aspecto de grãos (AG), arquitetura de planta (ARQ) e severidade de ferrugem (FE) e mancha angular (MA), obtidas na avaliação das linhagens do programa de seleção recorrente na safra do inverno de 2009. Coimbra-MG

FV	GL	PROD		AG		ARQ		FE		MA	
		QM	P	QM	P	QM	P	QM	P	QM	P
Tratamentos	61	378468,1	0,000	0,68	0,000	0,15	0,029	8,44	0,000	3,16	0,000
Linhagens (L)	59	379653,6	0,000	0,70	0,000	0,15	0,030	8,19	0,000	2,91	0,000
C <sub>0</sub>	29	465417,1	0,000	0,67	0,000	0,12	0,244	8,79	0,000	2,22	0,004
C <sub>1</sub>	29	228363,5	0,000	0,69	0,000	0,18	0,014	5,34	0,000	1,95	0,024
C <sub>0</sub> vs. C <sub>1</sub>	1	2279925,4	0,000	1,70	0,000	0,56	0,019	73,47	0,000	51,20	0,000
Testemunhas (T)	1	79718,5	0,372	0,38	0,096	0,00	0,999	1,50	0,096	1,50	0,256
L vs T	1	607274,4	0,013	0,07	0,480	0,04	0,528	29,69	0,000	19,28	0,000
Erro	122	95840,9		0,14		0,10		0,53		1,13	
Média		2445		2,2		3,9		3,3		4,7	
Média C <sub>0</sub>		2343		2,3		3,9		3,9		5,2	
Média C <sub>1</sub>		2568		2,1		4,0		2,6		4,1	
Ouro Vermelho		2247		1,8		3,8		5,0		6,0	
Vermelhinho		2017		2,3		3,8		6,0		7,0	
CV (%)		12,7		16,8		8,1		22,0		22,4	

Na análise conjunta também houve efeito significativo ( $P < 0,01$ ) de linhagens para todas as características avaliadas (Tabelas 20 e 21). No desdobramento da fonte de variação linhagens, observou-se que houve variação ( $P < 0,01$ ) entre as linhagens do ciclo zero, para todas as características. Já para a fonte de variação linhagens do ciclo um (C<sub>1</sub>) foi observado efeito não significativo apenas para mancha angular. O contraste C<sub>0</sub> vs. C<sub>1</sub> foi significativo ( $P < 0,01$ ) para todas as características, exceto para arquitetura de planta.

O contraste linhagens vs. testemunhas, nas análises conjuntas, foi não significativo para notas de aspecto de grãos e arquitetura de planta, indicando que para essas características a média das linhagens não diferiu da média das testemunhas (Tabelas 20 e 21). Já para produtividade de grãos e severidade de ferrugem e mancha angular foi observado efeito significativo para o contraste linhagens vs. testemunhas, evidenciando a superioridade das linhagens em relação às cultivares utilizadas pelos produtores de feijão.

A interação linhagens x ambientes foi significativa ( $P < 0,01$ ) para todas as características avaliadas (Tabelas 20 e 21), indicando que as linhagens apresentaram comportamento inconsistente nas diferentes safras. Para as fontes de variação linhagens do  $C_0$  x ambientes e linhagens do  $C_1$  x ambientes também foi verificado efeito significativo ( $P < 0,05$ ) para todas as características.

**Tabela 20.** Resumo das análises de variância conjunta da produtividade (kg/ha) (PROD) e notas de aspecto de grãos (AG) e arquitetura de planta (ARQ), referentes à avaliação de linhagens do programa de seleção recorrente em três ambientes

FV	GL	PROD		AG		ARQ	
		QM	P	QM	P	QM	P
Ambientes	2	55652010,2	0,000	5,44	0,000	4,48	0,000
Tratamentos	61	786657,9	0,000	1,12	0,000	0,85	0,000
Linhagens (L)	59	766137,5	0,000	1,14	0,000	0,88	0,000
$C_0$	29	806027,1	0,000	1,14	0,000	0,61	0,000
$C_1$	29	617868,2	0,000	1,05	0,000	1,16	0,000
$C_0$ vs. $C_1$	1	3909153,9	0,000	3,75	0,000	0,19	0,253
Testemunhas (T)	1	177607,9	0,254	0,68	0,019	0,01	0,752
Linhagens vs. Testemunhas	1	2606407,7	0,000	0,13	0,294	0,30	0,158
Tratamentos x Ambientes	122	370530,5	0,000	0,21	0,000	0,29	0,000
Linhagens x Ambientes	118	378809,7	0,000	0,21	0,000	0,29	0,000
$C_0$ x Ambientes	58	364750,0	0,000	0,20	0,005	0,21	0,036
$C_1$ x Ambientes	58	389436,9	0,000	0,22	0,000	0,35	0,000
$C_0$ vs. $C_1$ x Ambientes	2	478350,6	0,028	0,32	0,075	0,73	0,007
Testemunhas x Ambientes	2	41448,5	0,741	0,05	0,670	0,10	0,549
L vs. T x Ambientes	2	211144,5	0,203	0,01	0,904	0,44	0,051
Erro Médio	366	134563,5		0,12		0,15	
Média		2366		2,33		3,90	
Média $C_0$		2293		2,42		3,88	
Média $C_1$		2464		2,25		3,91	
Ouro Vermelho		2091		2,05		4,00	
Vermelhinho		1892		2,44		4,05	
CV (%)		14,9		11,2		8,0	

**Tabela 21.** Resumo das análises de variância conjunta da severidade de ferrugem (FE) e mancha angular (MA), referentes à avaliação das linhagens do programa de seleção recorrente, em três (FE) e dois (MA) ambientes

FV	FE			MA		
	GL	QM	P	GL	QM	P
Ambientes	2	37,13	0,000	1	348,56	0,000
Tratamentos	61	21,12	0,000	61	3,57	0,000
Linhagens (L)	59	20,44	0,000	59	3,26	0,000
C <sub>0</sub>	29	23,14	0,000	29	2,62	0,000
C <sub>1</sub>	29	12,02	0,000	29	2,04	0,074
C <sub>0</sub> vs. C <sub>1</sub>	1	186,10	0,000	1	56,83	0,000
Testemunhas (T)	1	2,74	0,017	1	2,09	0,000
Linhagens vs. Testemunhas	1	80,07	0,000	1	23,55	0,000
Tratamentos x Ambientes	122	0,71	0,002	61	1,27	0,000
Linhagens x Ambientes	118	0,73	0,002	59	1,28	0,000
C <sub>0</sub> x Ambientes	58	0,73	0,014	29	1,14	0,009
C <sub>1</sub> x Ambientes	58	0,71	0,014	29	1,23	0,004
C <sub>0</sub> vs. C <sub>1</sub> x Ambientes	2	1,31	0,068	1	6,69	0,001
Testemunhas x Ambientes	2	0,05	0,904	1	0,08	0,752
L vs. T x Ambientes	2	0,21	0,670	1	1,84	0,095
Erro Médio	366	0,48		244	0,65	
Média		2,98			5,70	
Média C <sub>0</sub>		3,50			6,06	
Média C <sub>1</sub>		2,33			5,26	
Ouro Vermelho		4,67			6,67	
Vermelhinho		5,45			7,50	
CV (%)		16,3			11,4	

Além de estimar o progresso genético com a seleção recorrente, esses experimentos foram realizados para identificar linhagens superiores a cultivar Ouro Vermelho, visando compor ensaios intermediários de avaliação. Nos ensaios intermediários são avaliadas as linhagens promissoras, identificadas nos trabalhos de melhoramento conduzidos pelo programa de melhoramento do feijoeiro da UFV, visando à composição de futuros ensaios de VCU no estado de Minas Gerais. Nessa fase, são incluídas apenas linhagens com nota de aspecto de grãos menor ou igual a 2,5, pois o mercado consumidor é exigente e não aceita cultivares com aspecto de grãos fora do padrão comercial.

As médias das linhagens, considerando os três ambientes, foram comparadas com a média da cultivar padrão Ouro Vermelho, pelo teste de Dunnett a 1% de probabilidade (Tabela 22). Para produtividade de grãos observou-se que 14 linhagens foram estatisticamente superiores a cultivar Ouro Vermelho, sendo sete do ciclo zero e sete do ciclo um. Quanto ao aspecto de grãos, 45 linhagens (75%) apresentaram notas iguais ou menores que a cultivar padrão. Para arquitetura de planta, duas linhagens do ciclo zero e cinco do ciclo um apresentaram notas estatisticamente menores que a cultivar padrão, entretanto elas não podem ser consideradas de porte ereto, pois apresentaram notas acima de 3,0. É importante lembrar que quanto menor a nota melhor a expressão do caráter.

Quanto à resistência a ferrugem e mancha angular, algumas linhagens mostraram-se promissoras (Tabela 22). As notas de severidade de ferrugem variaram de 1,0 a 5,4, sendo que 13 linhagens do ciclo zero e 24 do ciclo um, apresentaram notas estatisticamente menores que a nota da cultivar Ouro Vermelho. Para mancha angular, as linhagens do ciclo um foram as que apresentaram as menores notas, sendo 16 delas estatisticamente menores que a nota da cultivar padrão. Vale lembrar que quanto menor a nota de severidade, maior o nível de resistência às referidas doenças.

Considerando todas as características avaliadas, foi possível selecionar linhagens superiores a cultivar Ouro Vermelho e com potencial para promoção aos ensaios intermediários. As linhagens RVC0-1, RVC0-5 e RVC0-28 do ciclo zero, apresentaram notas menores que a cultivar Ouro Vermelho para severidade de ferrugem e mancha angular (Tabela 22). Essas linhagens também apresentaram notas de aspecto de grãos e arquitetura de planta, iguais ou menores do que a cultivar padrão e desempenho produtivo igual ou superior. No ciclo um, as linhagens que mais se destacaram foram RVCI-12, RVCI-20 e RVCI-28. É importante mencionar que essas linhagens apresentam bom aspecto de grãos com notas menores ou iguais a 2,5.

As médias de cada grupo de linhagens são apresentadas na tabela 23. Para produtividade de grãos, observou-se que a média das linhagens do ciclo um foi maior que a média das linhagens do ciclo zero, nos três ambientes. A estimativa do progresso genético (PG) com a seleção recorrente foi obtida para cada ambiente e considerando a média das três avaliações. Verificou-se que a estimativa do PG na safra do inverno foi de 8,5% em 2008 e 9,6% em 2009. Já na safra da seca de 2009 o progresso foi de 2,9%. Considerando as três avaliações o PG foi de 7,5%, o que equivale a 171 kg/ha.

Para aspecto de grãos, a estimativa do PG, na safra do inverno, também foi maior em relação à safra da seca. Considerando a média das três avaliações, o progresso genético estimado foi de 7,0% (Tabela 23). As estimativas do PG também foram obtidas para as demais características. Para arquitetura de planta, verificou-se que houve um aumento de 0,8% nas notas das linhagens do ciclo um em relação às notas das linhagens do ciclo zero, lembrando que quanto maior a nota pior a expressão do caráter. Para resistência a doenças o progresso genético foi expressivo, principalmente para ferrugem (33,4%). Para mancha angular a estimativa do PG com a seleção recorrente foi de 13,2%.

**Tabela 22.** Médias de produtividade de grãos (kg/ha) (PROD) e notas de aspecto de grãos (AG), arquitetura de planta (ARQ) e severidades de ferrugem (FE) e mancha angular (MA), de linhagens de feijão vermelho oriundas de dois ciclos de seleção recorrente, avaliadas em três ambientes

Linhagens	PROD	AG	ARQ	FE	MA	Linhagens	PROD	AG	ARQ	FE	MA
RVC0-1	2419a	2,3a	3,8a	1,1	5,2	RVCI-1	2591a	1,7a	4,2a	1,4	5,0
RVC0-2	2239a	2,1a	3,7a	5,1a	6,8a	RVCI-2	2203a	2,4a	4,1a	2,7	5,5a
RVC0-3	1969a	2,1a	3,6a	5,0a	6,5a	RVCI-3	2318a	2,3a	4,0a	1,3	5,3a
RVC0-4	2404a	2,1a	4,2a	4,1a	6,5a	RVCI-4	2362a	1,8a	4,1a	4,0a	5,2
RVC0-5	2467a	2,0a	4,3a	2,4	4,8	RVCI-5	2537a	2,7	3,2	1,9	5,0
RVC0-6	2080a	1,7a	4,1a	1,2	5,2	RVCI-6	2296a	1,8a	4,2a	1,2	5,2
RVC0-7	2112a	2,6a	3,9a	1,3	5,3a	RVCI-7	2341a	2,1a	4,2a	1,2	4,5
RVC0-8	2024a	2,1a	3,8a	1,8	5,8a	RVCI-8	1980a	2,0a	3,9a	4,9a	6,3a
RVC0-9	2361a	2,8	3,6a	3,0	5,8a	RVCI-9	2336a	2,1a	4,1a	3,9a	5,8a
RVC0-10	2622	2,5a	3,5a	3,0	6,8a	RVCI-10	2485a	2,1a	4,3a	1,4	5,2
RVC0-11	1885a	2,1a	3,7a	5,4a	7,2a	RVCI-11	2592a	2,3a	4,3a	4,0a	5,0
RVC0-12	1787a	2,5a	3,8a	5,3a	6,5a	RVCI-12	2776	2,4a	4,4a	1,3	4,7
RVC0-13	1819a	2,4a	3,8a	5,0a	6,8a	RVCI-13	2719	2,1a	3,7a	1,0	5,7a
RVC0-14	2059a	2,2a	4,0a	5,0a	6,5a	RVCI-14	2742	2,2a	3,7a	2,8	6,2a
RVC0-15	2237a	2,3a	4,0a	4,7a	5,5a	RVCI-15	2486a	2,2a	3,9a	1,7	5,7a
RVC0-16	2411a	2,5a	4,2a	4,6a	6,0a	RVCI-16	2719	2,2a	3,9a	3,6	5,8a
RVC0-17	2368a	2,6	4,1a	4,2a	5,8a	RVCI-17	2685	2,9	4,2a	1,1	5,3a
RVC0-18	2347a	3,1	3,7a	4,4a	6,2a	RVCI-18	2757	2,6	4,2a	1,3	6,2a
RVC0-19	2022a	2,9	3,8a	4,8a	6,3a	RVCI-19	2420a	2,1a	4,2a	3,9a	5,2
RVC0-20	2335a	3,0	4,0a	4,1a	6,3a	RVCI-20	3200	2,1a	4,2a	2,0	3,7
RVC0-21	2641	2,2a	4,1a	2,2	6,0a	RVCI-21	2573a	3,0	3,7a	3,4	4,3
RVC0-22	2782	2,9	4,0a	1,1	5,3a	RVCI-22	1919a	2,7	3,6a	4,3a	5,7a
RVC0-23	2670	3,2	4,0a	1,2	5,8a	RVCI-23	2353a	2,2a	3,4	2,3	5,2
RVC0-24	1997a	2,3a	3,3	4,9a	6,5a	RVCI-24	2389a	2,1a	3,2	2,8	5,8a
RVC0-25	2194a	2,2a	3,4	5,1a	7,3a	RVCI-25	2248a	2,4a	3,4	2,3	5,0
RVC0-26	2097a	2,7	3,5a	4,6a	6,5a	RVCI-26	2507a	2,4a	3,7a	2,0	5,2
RVC0-27	2729	2,3a	4,1a	2,1	5,3a	RVCI-27	2535a	1,5	4,5a	1,4	5,5a
RVC0-28	2678	2,4a	4,2a	1,2	5,0	RVCI-28	2487a	2,3a	3,4	1,1	4,5
RVC0-29	2899	2,4a	4,3a	1,7	5,5a	RVCI-29	2056a	2,6	4,0a	2,0	5,5a
RVC0-30	2148a	2,3a	3,9a	5,2a	6,3a	RVCI-30	2296a	2,4a	3,6a	1,3	4,8
O. Vermelho	2091	2,1	4,0	4,7	6,7	O. Vermelho	2091	2,1	4,0	4,7	6,7

<sup>1</sup>Médias seguidas pela letra a na coluna não diferem estatisticamente da média da cultivar Ouro Vermelho, pelo teste de Dunnett a 1% de probabilidade

**Tabela 23.** Médias de produtividade de grãos (kg/ha) (PROD) e notas de aspecto de grãos (AG), arquitetura de planta (ARQ) e severidade de ferrugem (FE) e mancha angular (MA), de linhagens de feijão vermelho, oriundas de dois ciclos de seleção recorrente.

	PROD		AG		ARQ		FE		MA	
	Média	Varição	Média	Varição	Média	Varição	Média	Varição	Média	Varição
Inverno de 2008										
C <sub>0</sub>	2771	1906 – 3889	2,41	1,83 - 2,83	3,78	2,83 - 4,50	3,72	1,00 - 6,00	-	-
C <sub>1</sub>	3006	2103 – 4561	2,17	1,33 - 2,83	3,67	2,33 - 4,50	2,46	1,00 - 5,33	-	-
PG (%)	<b>8,5</b>	-	<b>10,0</b>	-	<b>2,9</b>		<b>33,9</b>	-	-	-
Seca de 2009										
C <sub>0</sub>	1766	990 – 2463	2,56	1,83 - 3,67	3,99	3,00 - 4,83	2,90	1,00 - 5,00	6,90	5,67 - 8,67
C <sub>1</sub>	1817	1190 – 2188	2,49	1,83 - 3,33	4,10	3,17 - 4,83	1,92	1,00 - 4,00	6,38	4,67 - 7,67
PG (%)	<b>2,9</b>	-	<b>2,7</b>	-	<b>-2,8</b>		<b>33,8</b>	-	<b>7,5</b>	-
Inverno de 2009										
C <sub>0</sub>	2343	1547 – 3022	2,29	1,17 - 3,17	3,86	3,50 - 4,17	3,88	1,00 - 6,00	5,21	3,67 - 7,00
C <sub>1</sub>	2568	1783 – 2931	2,09	1,17 - 3,50	3,97	3,33 - 4,50	2,60	1,00 - 5,33	4,14	2,33 - 6,00
PG (%)	<b>9,6</b>	-	<b>8,7</b>	-	<b>-2,8</b>		<b>33,0</b>	-	<b>20,5</b>	-
Conjunta										
C <sub>0</sub>	2293	1787 – 2899	2,42	1,67 - 3,22	3,88	3,28 - 4,28	3,50	1,11 - 5,45	6,06	4,84 - 7,34
C <sub>1</sub>	2464	1919 – 3200	2,25	1,50 - 3,00	3,91	3,17 - 4,50	2,33	1,00 - 4,89	5,26	3,67 - 6,34
PG (%)	<b>7,5</b>	-	<b>7,0</b>	-	<b>-0,8</b>		<b>33,4</b>	-	<b>13,2</b>	-

## 5. DISCUSSÃO

Em programas de seleção recorrente, a obtenção da população base é primordial para se ter sucesso a curto, médio ou longo prazo. Neste trabalho, a ênfase foi na obtenção de linhagens de grãos vermelhos com alta produtividade. Portanto, a população base foi obtida a partir do cruzamento da cultivar Vermelhinho, única de grãos vermelhos brilhantes adaptada as condições de cultivo no estado de Minas Gerais, com linhagens elites e fontes de resistência a doenças. Foram realizados cruzamentos simples, duplos e retrocruzamentos entre a cultivar Vermelhinho e as demais linhagens. Os retrocruzamentos com a cultivar Vermelhinho foram realizados para recuperar a cor vermelha padrão dos grãos comercializados, principalmente, na Zona da Mata Mineira.

Outro ponto importante em um programa de seleção recorrente é a utilização de estratégias que possibilitem a identificação mais precisa possível dos indivíduos e ou famílias a serem recombinados. Neste trabalho a seleção das famílias para recombinação foi realizada a partir de experimentos conduzidos com as gerações  $F_{3:5}$  e  $F_{3:6}$  no ciclo zero e  $F_{5:6}$  e  $F_{5:7}$  no ciclo um. A precisão experimental foi evidenciada pelas estimativas dos coeficientes de variação (CV) que, na maioria dos casos, foi inferior a 20% (Tabelas 6, 12 e 13). Para todas as características, a precisão experimental avaliada pelo CV foi de média a boa (Matos et al., 2007).

A produtividade de grãos foi a característica que recebeu maior atenção, uma vez que, a cultivar Vermelhinho apresenta baixo potencial produtivo. Portanto, o programa de seleção recorrente precisava, em curto prazo, permitir a seleção de linhagens com potencial para recomendação aos agricultores. Assim, no ciclo zero ( $C_0$ ) avaliando apenas a produtividade de grãos foi possível selecionar a cultivar Ouro Vermelho, com

produtividade cerca de 30% superior em relação a cultivar Vermelhinho (Carneiro et al., 2006). A cultivar Ouro Vermelho também apresenta excelente qualidade de grãos, o que contribuiu muito para sua rápida adoção pelos produtores. Essa cultivar proporcionou ganhos expressivos em produtividade e maior oferta de feijão vermelho no mercado, beneficiando tanto o produtor quanto o consumidor. Atualmente essa cultivar substituiu completamente a cultivar Vermelhinho.

Apesar de alta produtividade, a cultivar Ouro Vermelho apresenta suscetibilidade a doenças importantes na região, como a mancha angular e a ferrugem. A ocorrência dessas doenças pode comprometer a produtividade, ou ainda, aumentar os custos de produção, com a utilização e aplicação de defensivos agrícolas. Portanto, a seleção de linhagens resistentes a doenças é muito importante, pois cultivares resistentes podem contribuir para redução do custo de produção e evitar a contaminação do meio ambiente devido ao uso de defensivos agrícolas, além de ser uma tecnologia de baixo custo e de fácil acesso para o produtor.

No ciclo zero as famílias foram derivadas de plantas  $F_3$  e conduzidas em *bulk* dentro de famílias. Como a seleção foi realizada com base na média da família, foram selecionadas 154 plantas dentro das de melhor desempenho. A superioridade das linhagens em relação à média das famílias do ciclo zero (Tabela 11) indica que a extração de plantas dentro das famílias segregantes foi eficiente para obter linhagens mais produtivas, e que a estratégia mostrou-se promissora no melhoramento do feijoeiro.

Com a intenção de aumentar a variabilidade no programa de seleção recorrente, na fase de recombinação, para obtenção da população do ciclo um ( $C_I$ ), além das famílias selecionadas no ciclo zero (Tabela 8), foram inseridas três linhagens de feijão roxo (VR-3, VR-2 e BRS Timbó). Essas linhagens além de produtivas são fontes de resistência à ferrugem e mancha angular. Portanto, no ciclo um, as famílias também foram avaliadas quanto à resistência a essas doenças, visando selecionar as que associassem alta produtividade e resistência a doenças, para recombinação e obtenção do ciclo dois ( $C_{II}$ ).

A resistência à ferrugem e mancha angular, assim como o aspecto de grãos e a arquitetura de planta, foram avaliados por meio de notas. Essa avaliação é dependente do avaliador e dos padrões de referência. Para atenuar esse problema, as avaliações foram realizadas por dois avaliadores e a média é que foi submetida à análise. Algumas vezes, tem sido questionado se esse tipo de caráter atende às pressuposições básicas da análise da variância. Há relatos, na literatura, de que esse tipo de dado, especialmente com média de

mais de um avaliador, pode ser submetido à análise de variância sem maiores restrições (Marques Júnior, 1997). Neste trabalho as pressuposições básicas da análise da variância foram atendidas para todas as características.

O sucesso da seleção no programa de seleção recorrente é dependente da existência de variabilidade. Neste trabalho, a variação para produtividade de grãos ficou evidenciada pelo efeito significativo ( $P < 0,05$ ) da fonte de variação famílias nos dois ciclos de seleção (Tabelas 6, 12, 13 e 14). No ciclo um, a presença de variabilidade na população para aspecto de grãos, arquitetura de planta e resistência à ferrugem e mancha angular também foi constatada pelo efeito significativo ( $P < 0,01$ ) da fonte de variação famílias (Tabelas 12, 13 e 14).

As estimativas de herdabilidade ( $h^2$ ) também confirmaram a presença de variabilidade entre as famílias. Em todos os casos o limite inferior da  $h^2$  foi positivo indicando que as estimativas obtidas, a 95% de confiança, devem ser diferentes de zero. Convém mencionar que estas estimativas são no sentido amplo, contudo, como a dominância não é expressiva nas gerações  $F_{3:5}$ ,  $F_{3:6}$ ,  $F_{3:7}$ ,  $F_{5:6}$  e  $F_{5:7}$ , infere-se que grande parte da variância presente no numerador de  $h^2$  deve ser aditiva (Moreto et al. 2007). A comparação de estimativas de herdabilidade nem sempre é válida, uma vez que depende da população, das condições ambientais, do número de famílias, da geração, do tamanho da parcela, da precisão experimental, entre outros (Cordeiro, 2001). Contudo, as estimativas estão coerentes com as obtidas por vários autores, que avaliaram essas características utilizando diferentes tipos de famílias (Carneiro et al., 2002, Cunha et al., 2005, Amaro et al., 2007, Menezes Júnior et al., 2008).

A variabilidade para produtividade de grãos era esperada, uma vez que os genitores envolvidos são de várias origens e com diferente potencial em termos de produtividade de grãos. A variação no tipo dos grãos também era esperada, pois os genitores pertencem a dois diferentes grupos (vermelho e carioca). Além disso, deve-se considerar que já foram identificados mais de 18 genes envolvidos com a cor dos grãos de feijão (Leakey, 1988; Basset, 2004). Além da cor, os genitores também são muito divergentes quanto ao tamanho e formato dos grãos. A arquitetura de planta também é uma característica complexa (Acqaah et al., 1991; Kornegay et al., 1992; Teixeira et al., 1999; Aguiar et al., 2000, Silva, 2011). O controle genético da reação aos patógenos da ferrugem e a mancha angular tem se mostrado na maioria dos casos estudados de natureza simples (Faleiro, 1997; Mahuku et al., 2004). Contudo, devido à existência, já comprovada, de várias raças desses patógenos

(Faleiro et al., 1999a; Nietsche et al., 2001), a seleção é dificultada, pois vários genes de resistência estarão envolvidos.

Nos programas de melhoramento, um grande problema é a presença de interação genótipos x ambientes. No caso do feijoeiro, que é cultivado em até três safras por ano, é necessário que as cultivares recomendadas sejam adaptadas as diferentes condições de cultivo. No presente estudo a interação famílias x gerações foi significativa ( $P < 0,01$ ) para produtividade de grãos nos dois ciclos (Tabelas 6 e 14) e para aspecto de grãos e arquitetura de planta no ciclo um (Tabela 14), indicando que as famílias apresentaram comportamento inconsistente nas diferentes safras.

No ciclo um, a contribuição da variância da interação famílias x gerações em relação à variância genética ( $\hat{\sigma}_{(P \times G)}^2 / \hat{\sigma}_P^2$ ) foi expressiva para arquitetura de planta e para aspecto de grãos (Tabela 15). Para produtividade de grãos a estimativa da variância da interação famílias x gerações foi superior a variância genética, nos dois ciclos (Tabelas 7 e 15). Na maior parte dos trabalhos realizados no Estado de Minas Gerais com a cultura do feijoeiro, a interação famílias x safras tem sido expressiva para as características avaliadas (Carneiro et al. 2002, Cunha et al. 2005, Melo et al. 2006, Moreto et al. 2007, Amaro et al., 2007; Menezes Júnior et al., 2008).

As famílias do ciclo um, selecionadas para recombinação, apresentaram alta produtividade de grãos e notas de aspecto de grãos variando de 1,4 a 2,7 (Tabela 16). Elas também apresentaram bom nível de resistência à ferrugem e a mancha angular. Portanto, espera-se que seja possível obter progresso genético para essas características nos próximos ciclos de seleção. Já para arquitetura de planta a variabilidade não foi suficiente para selecionar famílias de porte ereto. Nesse caso, a inclusão de linhagens com boa arquitetura de planta, na fase de recombinação, pode aumentar a variabilidade para essa característica e proporcionar progresso com a seleção nos próximos ciclos.

Em programas de seleção recorrente, a avaliação do progresso genético (PG) deve ser realizada periodicamente, visando orientar o melhorista na condução dos ciclos seguintes e também para auxiliar na tomada de decisões importantes sobre as alternativas que podem aumentar o ganho genético. Há algumas metodologias que são utilizadas para estimar o PG, entre elas, a comparações das populações  $S_0$  obtidas após cada recombinação; o emprego das testemunhas comuns na avaliação das famílias em cada ciclo (Amaro et al., 2007; Menezes Júnior et al., 2008); o uso de famílias  $S_2$  e  $S_3$  escolhidas em

função de maior produtividade (Singh et al., 1999; Ranalli, 1996), a comparação de famílias  $S_{1:2}$  extraídas simultaneamente em populações de vários ciclos de seleção (Silva et al., 2007) e a utilização das melhores linhagens identificadas nos diferentes ciclos (Ramalho et al., 2005a). Esse último procedimento foi adotado no presente trabalho, uma vez que, as famílias foram avaliadas em gerações diferentes nos dois ciclos de seleção. Este procedimento, pelo menos em princípio, é superior aos anteriores, pois as linhagens são escolhidas após várias gerações de avaliação e em diferentes épocas de semeadura. Desse modo, tem-se maior segurança na identificação das linhagens superiores.

Neste trabalho, o programa de seleção recorrente foi conduzido avaliando-se famílias por duas gerações e a recombinação das melhores para obtenção do ciclo seguinte. Assim, no ciclo zero foram avaliadas famílias  $F_{3:5}$  e  $F_{3:6}$  e recombinadas famílias  $F_{3:7}$ . Já no ciclo um as famílias foram extraídas na geração  $F_5$  e avaliadas nas gerações  $F_{5:6}$  e  $F_{5:7}$ , sendo a recombinação realizada utilizando famílias  $F_{5:8}$ . As famílias de cada ciclo, após a seleção das melhores para recombinação continuaram sendo avaliadas, visando à obtenção de linhagens. Dessa forma, ao final de cada ciclo de seleção foram obtidas linhagens de grãos vermelhos.

Como já mencionado anteriormente, as famílias foram avaliadas em anos e gerações diferentes, portanto a estimativa do progresso genético foi obtida comparando as 30 melhores linhagens de cada ciclo. Assim, as 30 linhagens de cada ciclo foram avaliadas quanto à produtividade de grãos, arquitetura de planta, aspecto de grãos e resistência à ferrugem e mancha angular, nos anos de 2008 e 2009. Foi evidente o efeito significativo de linhagens nos três ambientes para todas as características avaliadas (Tabelas 17, 18 e 19), indicando a possibilidade de selecionar linhagens com melhor desempenho. No desdobramento da fonte de variação linhagens, de modo geral, observou-se variação ( $P < 0,01$ ) para os grupos de linhagens do programa de seleção recorrente ( $C_0$  e  $C_1$ ), indicando que houve diferença entre as médias das linhagens dentro dos grupos. Nos casos em que o contraste  $C_0$  vs.  $C_1$  foi significativo ( $P < 0,01$ ), indica que houve progresso genético, pois, a média das linhagens do  $C_1$  foi superior à média das linhagens do  $C_0$  para produtividade de grãos e menor para aspecto de grãos e severidade de ferrugem e mancha angular.

Nas análises conjuntas também foi constatada significância ( $P < 0,01$ ) para a fonte de variação linhagens para todas as características (Tabelas 20 e 21). Diferença significativa ( $P < 0,01$ ) entre as médias das linhagens dentro dos grupos também foi constatada, para

todas as características, exceto para mancha angular entre as linhagens do ciclo um. O contraste  $C_0$  vs.  $C_1$  foi não significativo apenas para arquitetura de planta, indicando que não houve progresso genético para essa característica, considerando a média dos três ambientes. Para as demais características foi verificada diferença significativa ( $P < 0,01$ ) para o contraste  $C_0$  vs.  $C_1$ , indicando que houve progresso genético, uma vez que, a média das linhagens do  $C_1$  foi superior à média das linhagens do  $C_0$  para produtividade de grãos e menor para aspecto de grãos e severidade de ferrugem e mancha angular.

A interação linhagens x ambientes foi significativa ( $P < 0,01$ ) para todos os caracteres (Tabelas 20 e 21), indicando que o comportamento das linhagens não foi consistente nos diferentes ambientes. Para os grupos de linhagens ( $C_0$  e  $C_1$ ) a interação também foi significativa ( $P < 0,05$ ) para todas as características. Para a fonte de variação  $C_0$  vs.  $C_1$  x ambientes houve efeito significativo ( $P < 0,05$ ) para produtividade de grãos e notas de arquitetura de planta e mancha angular. Como já comentado anteriormente, a interação genótipos x ambientes é um grande problema no dia a dia dos melhoristas, uma vez que dificulta a seleção e recomendação de cultivares que sejam adaptadas as diversas condições de cultivo. Couto et al. (2008), avaliando linhagens de grãos tipo carioca em diferentes ambientes no Sul de Minas Gerais, também constataram efeitos significativos da interação. Os autores sugeriram, no caso particular do feijoeiro, que a seleção das melhores linhagens deve ser realizada com base na média dos vários ambientes.

A estimativa do progresso genético (PG) foi obtida para cada ambiente e para a média das três avaliações (Tabela 23). Para produtividade de grãos, a estimativa do PG na safra do inverno foi de 8,5% em 2008 e 9,6% em 2009. Já na safra da seca o progresso foi de 2,9%. A diferença nas estimativas pode ser atribuída à ocorrência de ferrugem e mancha angular, uma vez que, na safra de inverno as condições climáticas favorecem a ocorrência de ferrugem, enquanto que na safra da seca as condições são mais favoráveis à ocorrência de mancha angular. Como pode ser observado na tabela 23, as médias de ferrugem foram inferiores na safra da seca, indicando menor severidade desta doença, como esperado. Por outro lado, as notas de mancha angular foram maiores, indicando maior severidade desta doença na safra da seca, época de semeadura mais favorável ao seu desenvolvimento. Como as linhagens do ciclo um, foram cerca de 33% mais resistentes a ferrugem, em relação às linhagens do ciclo zero, é possível que o maior nível de resistência a ferrugem tenha contribuído para uma maior produtividade dessas linhagens, proporcionando maiores ganhos em produtividade na safra do inverno. Já na safra da seca, a alta severidade de

mancha angular e o baixo nível de resistência das linhagens dos dois ciclos, afetaram negativamente a produtividade e conseqüentemente o progresso genético nesta safra.

Considerando a média dos três ambientes o PG para produtividade de grãos foi de 7,5%, o que equivale a 171 kg/ha (Tabela 23). 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., 2005b; Silva et al., 2010). Avaliando as linhagens obtidas em quatro ciclos de seleção recorrente para melhoramento de feijão carioca, Ramalho et al. (2005b) verificaram progresso genético de 5,7% por ciclo, para produtividade de grãos. Em plantas autógamas, a comparação entre estimativas de progresso genético são dificultadas devido às diferenças nas metodologias empregadas na condução do programa de seleção recorrente.

O progresso genético para aspecto de grãos também foi maior na safra do inverno (Tabela 23). Aqui a maior ocorrência de mancha angular também pode ter contribuído para a menor estimativa do PG na safra da seca. Nesse caso, a doença prejudicou a formação dos grãos, afetando a sua aparência. Portanto, houve uma tendência em nivelar as notas de aspecto de grãos das linhagens dos dois ciclos, resultando em menor progresso genético na safra da seca. Considerando as três avaliações o PG foi de 7,0%. Para aspecto de grãos, em feijão carioca, foram obtidas estimativas de progresso genético com a seleção recorrente por volta de 10% (Ramalho et al., 2005b; Menezes Júnior et al., 2008).

Para severidade de ferrugem o progresso genético foi acima de 33%, nos três ambientes e na média das avaliações (Tabela 23). Para mancha angular, considerando a média dos dois ambientes em que esta doença foi avaliada, o progresso genético foi de 13,2%. Na literatura não foram encontradas estimativas de progresso genético para resistência a ferrugem. Para mancha angular, Amaro et al. (2007) obtiveram progresso genético de 6,3% por ciclo, após seis ciclos de seleção recorrente fenotípica.

Pelos resultados obtidos, tanto nas análises individuais (Tabelas 17, 18 e 19) como na conjunta (Tabela 20), pode-se dizer que não houve ganho genético para arquitetura de planta, uma vez que o contraste  $C_0$  vs.  $C_1$  foi não significativo. Esse fato já era esperado, pois, na escolha dos genitores utilizados na composição das populações, essa característica não foi levada em consideração. Considerando que as cultivares de feijão vermelho recomendadas, deixam a desejar quanto à arquitetura de planta, torna-se necessário a inclusão de genitores de porte ereto na população.

É importante ressaltar que, para obtenção da população do ciclo um, foram incluídos três novos genitores (VR-3, VR-2 e BRS Timbó), visando melhorar o nível de resistência à ferrugem e mancha-angular na população. Assim, parte do progresso genético obtido deve ser atribuído ao efeito desses genitores. A possibilidade de introduzir novos genitores durante as fases de recombinação é uma das vantagens da seleção recorrente (Geraldí, 1997; Ramalho et al., 2001), tornando o processo muito mais dinâmico. Essa estratégia também foi utilizada com sucesso por Ramalho et al. (2005a).

Após dois ciclos de seleção recorrente foram obtidas linhagens de grãos vermelhos, com alta produtividade e bom nível de tolerância à ferrugem e mancha angular, com potencial para inclusão nos ensaios de VCU para Minas Gerais. Assim, pode-se dizer que essa estratégia foi eficiente para melhoramento do feijoeiro de grãos vermelhos.

Embora tenham sido obtidas linhagens com bom desempenho, atendendo aos objetivos do programa de melhoramento em curto prazo, o programa de seleção recorrente deve ter continuidade, pois somente por meio de ciclos contínuos de seleção será possível acumular maior número de alelos favoráveis. A variabilidade genética presente na população evidencia a possibilidade de se continuar obtendo sucesso com a seleção.

## 6. CONCLUSÕES

A estimativa do progresso genético comprovou a eficiência da seleção recorrente no melhoramento do feijão vermelho. Após dois ciclos de seleção recorrente, o progresso genético foi de 7,5% para produtividade de grãos, 7,0% para aspecto de grãos, 33,4% para severidade de ferrugem e 13,2% para severidade de mancha angular.

A variabilidade para arquitetura de planta não foi suficiente para selecionar linhagens de grãos vermelhos com porte ereto, evidenciando a necessidade de inclusão de novos genitores na fase de recombinação.

A inclusão de novas linhagens durante a fase de recombinação mostrou-se eficiente para programas de seleção recorrente com a cultura do feijoeiro.

Foram obtidas linhagens de feijão vermelho superiores às cultivares Vermelhinho e Ouro Vermelho, com potencial para serem incluídas em futuros ensaios de VCU no estado de Minas Gerais.

A existência de variabilidade genética, para todas as características avaliadas evidencia a possibilidade de se obter sucesso com a seleção nos ciclos seguintes e que o programa de seleção recorrente deve ter continuidade.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACQUAHH, G.; ADAMS, M. W.; KELLY, J. D. Identification of effective indicators of erect plant architecture in dry bean. **Crop Science**, Madison, v. 31, n. 2, p. 261-264, 1991.

ADAMS, M. W. Plant architecture and physiological efficiency. In: Centro Internacional de Agricultura Tropical. **Potentials of field beans and other food legumes in Latin America**. Cali, Colombia, 1973. p. 226-278.

ADAMS, M. W. Plant architecture and yield breeding. **Iowa State Journal of Research**. v. 56, n. 3, p. 225-254, 1982.

AGUIAR, A. M.; RAMALHO, M. A. P.; MARQUES JUNIOR, O. G. Controle genético do stay green no feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 47, n. 270, p. 155-167, 2000.

ALLARD, R.W. **Principles of Plant Breeding**. N. York, John Wiley and Sons, 485p, 1960.

ALMEIDA, L. D.; LEITÃO FILHO, H. F. e MIYASAKA, S. Características do feijão carioca, um novo cultivar. **Bragantia**, Campinas, v.30, p. 33-38, 1971.

ALZATE-MARIN, A. L.; SCHUSTER, I.; MOREIRA, M. A.; BARROS, E. G. Association of dominant and recessive genes confers anthracnose resistance in stem and leaves of common bean. **Journal of Phytopathology**, v. 157, p. 70-72, 2009.

ALZATE-MARIN A. L.; SOUZA T. L. P. O.; ARRUDA K. M. A.; SILVA M. G. M.; CHAGAS J. M.; BARROS E. G.; MOREIRA M. A. Reação do cultivar de feijoeiro-comum Vermelhinho à ferrugem, antracnose e mancha-angular. **Revista 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.

- BAENZIGER, P. S.; PETERSON, C. J. Genetic variation: its origin and use for breeding self-pollinated species. In: STALKER, H.T. e J.P. MURPHY. **Plant Breeding in the 1990's**. Wallingford, CAB International, p.69-100, 1992.
- BALBI B. P.; SANGLARD, D. A.; ARRUDA, K. M. A.; COSTA, M. R.; PIOVESAN, N. D.; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A. Characterization of *Pseudocercospora griseola* isolates collected in the state of Minas Gerais, Brazil. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v. 52, p. 56-57, 2009.
- BARRON, J. E.; PASINI, R. J.; DAVIS, D. W.; STUTHMAN, D. D.; GRAHAM, P. H. Response to selection for seed yield and nitrogen (N<sub>2</sub>) fixation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 62, n. 2/3, p. 119-128, 1999.
- BASSET, M. J. List of genes - *Phaseolus vulgaris* L. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Forte Collins, v. 47 p. 1-24, 2004.
- BEATTIE, A. D.; LARSEN, J.; MICHAELS, T. E.; PAULS, K. P. Mapping quantitative trait loci for a common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) ideotype. **Genome**, v. 46, p. 411-422, 2003.
- BEAVER, J. S.; KELLY, J. D. Comparison of selection methods for dry bean populations derived from crosses between gene pools. **Crop Science**, Madison, v. 34, n. 1, p. 34-37, 1994.
- BONFIM, K.; FARIA, J. C.; NOGUEIRA, E.; MENDES, E.; ARAGÃO, F. J. L. RNAi-mediated resistance to Bean golden mosaic virus in genetically engineered common bean (*Phaseolus vulgaris*). **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v. 20, p. 717-726, 2007.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de Plantas**. 5. ed. Viçosa: Editora UFV, 2009. v. 1. 529 p.
- BORÉM, A.; CARNEIRO, J. E. S. A cultura. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR., T. J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2006. p. 13-18.
- 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, p. no-no, 2010.
- BROTHERS, M. E.; KELLY, J. D. Interrelationship of plant architecture and yield components in the pinto bean ideotype. **Crop Science**, Madison, v. 33, n. 6, p. 1234-1238, 1993.
- 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.; 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.

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. 4, p. 515-524, 2002.

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 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

CONAB (2010) Companhia Nacional de Abastecimento **7º Levantamento de grãos 2009/10**. <http://www.conab.gov.br/conabweb/>. Acessado em 11 novembro de 2010.

CORDEIRO, A. C. C. **Número de inter cruzamentos na eficiência da seleção recorrente na cultura do arroz**. 2001. 149 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

CORTE, H. R.; RAMALHO, M. A. P.; GONÇALVES, F. M. A.; ABREU, A. B. F. Natural selection for grain yield in dry bean population bred by the *bulk* method. **Euphytica**, Wageningen, v. 123, n. 3, p. 387-393, 2002.

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.

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. 88 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

COSTA, J. G. C.; RAVA, C. A. Linhagens de feijoeiro comum com fenótipos agronômicos favoráveis e resistência ao crestamento bacteriano comum e antracnose. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras. v. 27, n.5, p. 1176-1182, 2003.

COSTA, J. G. C.; RAVA, C. A.; ZIMMERMANN, F. J. P. Comparação da eficiência de métodos de seleção em gerações segregantes de feijoeiro-comum considerando a resistência à antracnose e o rendimento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 2, p. 244-251, 2002.

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**, v. 32, p. 1643-1648, 2008.

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.

CRUZ, C. D.; **Programa Genes – Biometria**. Viçosa: UFV. 2006. 382p.

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

FALEIRO, F. G.; VINHADELI, W. S.; RAGAGNIN, V. A.; ZAMBOLIN, L.; PAULA JÚNIOR, T. J.; MOREIRA, M. A.; BARROS, E. G. Identificação de raças fisiológicas de *Uromyces appendiculatus* no estado de Minas Gerais, Brasil. **Fitopatologia Brasileira**, v. 24, p. 166-169, 1999a.

FALEIRO, F. G.; VINHADELLI, W. S.; RAGAGNIN, V. A.; PAULA JUNIOR, T. J.; MOREIRA, M. A.; BARROS, E. G. Resistência do feijoeiro-comum a quatro raças de *Uromyces appendiculatus*. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 46, p. 11-18, 1999b.

FALEIRO, F. G. **Identificação de raças, diversidade genética de *Uromyces appendiculatus* var. *appendiculatus* e herança da resistência no feijoeiro**. 1997. 65 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

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.

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

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

GONÇALVES, F. M. A.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Natural selection in four common bean traits. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v.1, n.3, p. 213-220, 2001.

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

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

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

KELLY, J. D. Remaking bean plant architecture for efficient production. **Advances in Agronomy**, New York, v. 7, n. 1, p. 109-143. 2001

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.

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

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.

KORNEGAY, J.; WHITE, J. W.; CRUZ, O. O. Growth habit and gene pool effects on inheritance of yield in common bean. **Euphytica**, Wageningen, v. 62, n. 3, p. 171-180, 1992.

LEAKEY, C. L. A. Genotypic and phenotypic markers in common bean. In: GEPTS, P. (Ed.). **Genetic Resources of *Phaseolus* beans: Their maintenance, domestication, evolution, and utilization**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988. p 245-327.

LEMONS, L. B.; FERNASIERI FILHO, D.; SILVA, T. R. B.; SORATTO, R. P. Suscetibilidade de genótipos de feijão ao vírus-do-mosaico-dourado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 5, p. 575-581, 2003.

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.

MAHUKU, G.; MONTOYA, C.; HENRÍQUEZ, M. A.; JARA, C.; TERAN, H.; BEEBE., S. Inheritance and characterization of angular leaf spot resistance gene presence in common bean accession G 10474 and identification of an AFLP marker linked to the resistance gene. **Crop Science**, Madison, v. 44, n. 5, p. 1817-1824, 2004.

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.

MARQUES JÚNIOR, O. G. **Eficiência de experimentos com a cultura do feijão**. 1997. 80 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

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.

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

MENEZES JÚNIOR, J. A. N.; CARNEIRO, J. E. S.; SILVA, V. M. P.; SILVA, L. C.; PETERNELLI, L. A.; CARNEIRO, P. C. S. Common bean breeding to improve red grain lines. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 2011. (Prelo)

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

MENEZES JÚNIOR, J. A. N.; CARNEIRO, P. C. S., CARNEIRO, J. E. S.; TEIXEIRA, A. L.; OLIVEIRA, G. V.; CAMPOS, S. C. Melhoramento de feijão-vermelho para a Zona da Mata de Minas Gerais. In: Simpósio de Iniciação Científica, 13. Viçosa: UFV. 2003. **Resumos...** Viçosa: UFV, p. 609, 2003. (CD ROM).

MORETO A. L.; RAMALHO M. A. P.; ABREU A. F. B. Estimação dos componentes da variância fenotípica em feijoeiro utilizando o método genealógico. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p.1035-1042, 2007.

MSTAT-C. **A software program for the design, management and analysis of agronomic research experiments**. [S.1]: Michigan State University, 1991. p. ir.

NIETSCHKE, S.; BORÉM, A.; CARVALHO, G. A.; PAULA JÚNIOR, T. J.; FERREIRA, C. F.; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A. Genetic diversity of *Phaeoisariopsis griseola* in the State of Minas Gerais, Brazil. **Euphytica**, Wageningen, v. 117, n. 1, p. 77-84, 2001.

NUNES, J. A. R.; MORETO, A. L.; RAMALHO, M. A. P. Using genealogy to improve selection efficiency of pedigree method. **Scientia Agricola**, v. 65, p. 25-30, 2008.

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.

PEREIRA, H. S.; SANTOS, J. B. dos; ABREU, A. de F. B. Linhagens de feijoeiro com resistência à antracnose selecionadas quanto a características agrônômicas desejáveis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 3, p. 209-215, 2004.

PEREIRA, P. A. A.; MIRANDA, B. D.; ATTEWELL, J. R.; KMIETIK, K. A.; BLISS, F. A. Selection for increased nodule number in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 148, n. 2, p. 203-209, 1993.

PETERNELLI, L. A.; BORÉM, A.; CARNEIRO, J. E. S. Hibridação em Feijão. In: Borém, A (ed.) **Hibridação Artificial de Plantas**. Editora UFV, Viçosa, 2009, p. 514-536.

- RAGAGNIN V. A.; SOUZA T. L. P. O.; SANGLARD D. A.; ARRUDA K. M. A.; COSTA M. R.; AZATE-MARIN A. L.; CARNEIRO J. E. S.; MOREIRA M. A.; BARROS E. G. Development and agronomic performance of common bean lines simultaneously resistant to anthracnose, angular leaf spot and rust. **Plant Breeding**, v. 128, p. 156-163, 2009.
- RAPOSO, F. V.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, Â. F. B. Comparação de métodos de condução de populações segregantes do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 10, p. 1991-1997, 2000.
- RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B.; SANTOS, J. B. dos. Melhoramento de espécies autógamas. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S. de; VALADARES-INGLIS, M. C. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 201-230.
- RAMALHO M. A. P.; ABREU A. F. B.; SANTOS J. B. Genetic progress after four cycles of recurrent selection for yield and grain traits in common bean. **Euphytica**, v. 144, p. 23-29, 2005a.
- RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Cultivares. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Eds.). **Feijão**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. p. 415-436.
- RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. Lavras: UFLA, 2005b, 322 p.
- RAMALHO, M. A. P. Melhoramento do feijoeiro. In: Simpósio de atualização em Genética e Melhoramento de Plantas, Lavras. **Anais...** Lavras, 1997. p. 169-192.
- RANALLI, P. Phenotypic recurrent selection in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) based on performance of S<sub>2</sub> progenies. **Euphytica**, Wageningen, v. 87, n. 2, p. 127-132, 1996.
- RAVA, C. A.; COSTA, J. G. C.; SARTORATO, A.; ZIMMERMANN, M. J. O. Obtenção de linhagens de feijoeiro resistentes ao crestamento bacteriano comum originadas do cruzamento entre *Phaseolus vulgaris* e *P. acutifolius*. **Summa Phytopathologica**, v. 22, p. 33-36, 1996.
- 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.
- ROCHA, G. S. **Desempenho produtivo e resistência a patógenos em populações de feijão do tipo carioca**. 2008. 63 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- 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.

SANTOS, V. S.; RAMALHO, M. A. P.; CARNEIRO, J. E. S.; ABREU, A. F. B. Consequences of early selection for grain type in common bean breeding. Londrina, **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 1, n. 4, p. 347-354, 2001.

SATTERTHWAITE, R. E. An approximate distribution of estimates of variance components. **Biometrics**, Raleigh, v. 2, p. 110-114, 1946.

SILVA, V. M. P. **Melhoramento genético do porte do feijoeiro**. 2011. 60 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

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.

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

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

SILVA, G. F. O.; SANTOS, P. G.; MELO, L. C.; BASSINELLO, P. Z.; PELOSO, M. J.; FARIA, L. C. Efficiency of methods for conducting segregating populations in the breeding of common bean for protein quality. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 8, p. 149-154, 2008.

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, L. C. **Recomendação de cultivares de feijão-vermelho para o Estado de Minas Gerais**. 2005. 77 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SILVA, N. O.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B.; CARNEIRO, J. E. de S. Performance of common bean families after different generations under natural selection. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 27, n. 4, p. 574-578, 2004.

SILVA, A. D.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU A. F. B.; MARTINS L. A. Efeito da seleção visual para produtividade de grãos em populações segregantes do feijoeiro. II. Seleção entre famílias. **Ciência e Prática**, v. 18, p.181-185, 1994.

SINGH, S. P.; SCHWARTZ, H. F. Breeding common bean for resistance to diseases: A Review. **Crop Science**, Madison, v. 50, n. 6, p. 2199-2223, 2010.

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, 1999.

SOUZA, T. L. P. O.; ALZATE-MARIN, A. L.; FALEIRO, F. G.; BARROS, E. G. Pathosystem Common Bean *Uromyces appendiculatus*: host resistance, pathogen specialization, and breeding for rust resistance. **Pest Technology**, v. 2, p. 56-69, 2008.

SULLIVAN, J. G.; BLISS, F. A. Recurrent mass selection for increase seed yield and seed protein percentage in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) using a selection index. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 108, n. 1, p. 42-46, 1983.

TANURE, J. P. M.; COSTA, M. R.; CARNEIRO, J. E. S.; MOREIRA, M. A.; BARROS, E. G. Introgression of anthracnose, angular leaf spot and rust resistance genes in bean cultivars Vermelhinho and Ouro Vermelho. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v. 51, p. 162-163, 2008.

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

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

VIEIRA C. **Memórias de meio século de estudo sobre a cultura do feijão**. UFV, Viçosa, 2005, 214 p.

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.