

VINÍCIUS LOPES DE MELO

**PROGRESSO GENÉTICO E POTENCIAL DE FAMÍLIAS E LINHAGENS DE  
DOIS CICLOS DE SELEÇÃO RECORRENTE NO MELHORAMENTO DE  
FEIJÃO VERMELHO**

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

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2016

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

T

M528p  
2016  
Melo, Vinícius Lopes de, 19-  
Progresso genético e potencial de famílias e linhagens de  
dois ciclos de seleção recorrente no melhoramento de feijão  
vermelho / Vinícius Lopes de Melo. – Viçosa, MG, 2016.  
x, 37f. : il. ; 29 cm.

Orientador: José Eustáquio de Souza Carneiro.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Referências bibliográficas: f.33-37.

1. *Phaseolus vulgaris* L. 2. Feijão - Qualidade. 3. Feijão -  
Melhoramento genético. I. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-graduação em  
Fitotecnia. II. Título.

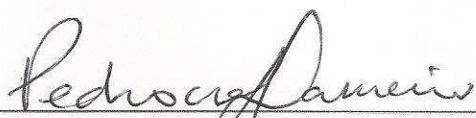
CDD 22. ed. 635.652

VINÍCIUS LOPES DE MELO

**PROGRESSO GENÉTICO E POTENCIAL DE FAMÍLIAS E LINHAGENS DE  
DOIS CICLOS DE SELEÇÃO RECORRENTE NO MELHORAMENTO DE  
FEIJÃO VERMELHO**

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

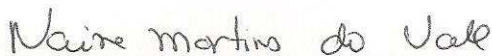
APROVADA: 23 de fevereiro de 2016.



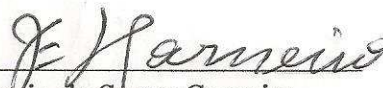
Pedro Crescêncio Souza Carneiro  
(Coorientador)



Rodrigo Oliveira de Lima  
(Coorientador)



Naine Martins do Vale



José Eustáquio de Souza Carneiro  
(Orientador)

*A Deus, por me acolher em todos os momentos,  
dando-me força e perseverança para vencer as  
dificuldades desta caminhada.*

*“Tudo posso naquele que me fortalece.” (Fl. 4.13).*

*À minha mãe, Zilvone, por ter dedicado sua vida a  
nos dar a melhor educação e pelo seu amor  
incondicional.*

*À minha irmã Vívian, por estar sempre ao meu  
lado, apoiando-me e incentivando-me.*

*A todos os familiares e amigos.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me acolher em todos os momentos, dando-me força e perseverança para vencer as dificuldades desta caminhada.

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

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio financeiro à pesquisa do Programa Feijão da UFV.

Ao professor José Eustáquio de Souza Carneiro, pela oportunidade, pela orientação, pela amizade, pela dedicação e pelos ensinamentos.

Aos professores Pedro Crescêncio Souza Carneiro e Rodrigo Oliveira de Lima, pela amizade e disponibilidade de sempre ajudar.

À Naine Martins do Vale, pelo auxílio, pela colaboração, pela dedicação, pela amizade, pelos bons momentos e, acima de tudo, por sempre estar à disposição.

À minha mãe, Zilvone, pelo amor incondicional, pelo incentivo na busca do conhecimento e por sempre estar ao meu lado.

Às minhas irmãs, Vívian e Cecília, pela amizade, pelo apoio, pelo carinho e pelo incentivo.

Ao amigo Aderico Badaró, pela contribuição, pelo auxílio, pela disponibilidade, pela amizade e pelos momentos de descontração.

A todos os amigos do Programa Feijão, pelo trabalho em equipe, fundamental para a condução dos experimentos, e pelos momentos divididos durante esta jornada.

A todos os funcionários da Estação Experimental de Coimbra, pela colaboração na condução dos experimentos.

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho, meu MUITO OBRIGADO.

## BIOGRAFIA

VINÍCIUS LOPES DE MELO, filho de Cícero Pereira de Melo (*in memoriam*) e de Zilvone Lopes de Melo, nasceu em 31 de agosto de 1984, na cidade de Januária, Minas Gerais.

Em fevereiro de 2007, ingressou no curso de graduação em Tecnologia em Irrigação e Drenagem no Instituto Federal do Norte de Minas Gerais (IFNMG) – *campus* Januária, obtendo o título de Tecnólogo em Irrigação e Drenagem em 2010.

Em fevereiro de 2010, ingressou no curso de graduação em Agronomia no IFNMG – *campus* Januária, obtendo o título de Engenheiro-Agrônomo em fevereiro de 2014.

Em março de 2014, iniciou-se no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais, em nível de mestrado, submetendo-se à defesa da dissertação em 23 de fevereiro de 2016.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
LISTA DE TABELAS .....	vi
RESUMO .....	vii
ABSTRACT .....	ix
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1 Importância do feijoeiro .....	3
2.2 Melhoramento genético do feijoeiro .....	4
2.3 Seleção recorrente no melhoramento do feijoeiro .....	7
2.4 Estimativas de Progresso Genético .....	9
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	12
3.1 Local de condução dos experimentos .....	12
3.2 Estratégia de melhoramento empregada .....	12
3.2.1 Obtenção da população-base ( $C_0$ ) .....	12
3.2.2 Obtenção do ciclo $C_I$ .....	13
3.2.3 Obtenção do ciclo $C_{II}$ .....	13
3.2.3 Obtenção do ciclo $C_{III}$ .....	14
3.2.4 Obtenção e avaliação das famílias do ciclo $C_{III}$ .....	16
3.3 Estimativas do progresso genético .....	18
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	21
4.1 Avaliação de linhagens de dois ciclos de seleção recorrente .....	21
4.2 Estimativas de progresso genético de dois ciclos de seleção recorrente .....	24
4.3 Avaliação de famílias do Ciclo $C_{III}$ .....	27
5 CONCLUSÕES .....	32
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	33

## LISTA DE TABELAS

### Página

Tabela 1 – Cruzamentos utilizados na composição da população-base (ciclo C <sub>0</sub> ) .....	13
Tabela 2 – Cruzamentos utilizados na composição da população do ciclo C <sub>I</sub> .....	14
Tabela 3 – Cruzamentos utilizados na composição da população do ciclo C <sub>II</sub> .....	15
Tabela 4 – Peso econômico, valor ótimo e limites inferior e superior no estabelecimento do índice genótipo-ideótipo para seleção das 30 linhagens do C <sub>III</sub> .....	18
Tabela 5 – Resumo das análises de variância da produtividade de grãos (PROD), em kg ha <sup>-1</sup> , arquitetura de planta (ARQ) e aspecto de grãos (AG), referentes à avaliação de linhagens de feijão-vermelho nas safras da seca de 2012 e 2015 e inverno de 2014. Coimbra, MG .....	22
Tabela 6 – Resumo das análises de variância conjunta da produtividade de grãos (PROD), em kg ha <sup>-1</sup> , arquitetura de planta (ARQ) e aspecto de grãos (AG) referentes à avaliação de linhagens de feijão-vermelho nas safras da seca de 2012 e 2015 e inverno de 2014. Coimbra, MG .....	23
Tabela 7 – Médias de produtividade de grãos (PROD), em kg ha <sup>-1</sup> , arquitetura de plantas (ARQ), aspecto de grãos (AG) e limites inferiores (LI) e superiores (LS) referentes às linhagens dos ciclos C <sub>0</sub> , C <sub>I</sub> e C <sub>II</sub> , avaliados nas safras da seca de 2012 e 2015 e inverno de 2014, Coimbra, MG .....	24
Tabela 8 – Número de linhagens por ciclo considerando as 20, dez e cinco linhagens superiores quanto à produtividade de grãos (PROD), em kg ha <sup>-1</sup> , arquitetura de plantas (ARQ) e aspecto de grãos (AG) das linhagens superiores.....	24
Tabela 9 – Médias de produtividade de grãos (kg ha <sup>-1</sup> ) e arquitetura de planta (ARQ) e aspecto de grãos (AG) das 30 linhagens superiores de cada ciclo e progresso genético com base nessas médias. Safra da seca de 2015. Coimbra, MG .....	25
Tabela 10 – Médias de produtividade de grãos (kg ha <sup>-1</sup> ), arquitetura de planta (ARQ) e aspecto de grãos (AG) das 30 linhagens superiores de cada ciclo e progresso genético com base nessas médias. Safra de inverno de 2014. Coimbra, MG .....	25
Tabela 11 – Médias de produtividade de grãos (kg ha <sup>-1</sup> ), arquitetura de planta (ARQ) e aspecto de grãos (AG), das 30 linhagens superiores de cada ciclo e progresso genético com base nessas médias. Safra da seca de 2012. Coimbra, MG.....	25
Tabela 12 – Médias de produtividade de grãos (kg ha <sup>-1</sup> ), arquitetura de planta (ARQ) e aspecto de grãos (AG) das 30 linhagens superiores de cada ciclo e progresso genético com base nas médias da análise conjunta .....	26
Tabela 13 – Resumo das análises de variância individuais da produtividade de grãos (PROD), em kg ha <sup>-1</sup> , severidade de mancha-angular (MA), arquitetura de planta (ARQ) e notas de aspecto de grãos (AG), referentes às famílias F <sub>2:3</sub> avaliadas na safra da seca de 2015. Coimbra, MG .....	28
Tabela 14 – Médias de produtividade de grãos (PROD), em kg ha <sup>-1</sup> , severidade de mancha-angular (MA), arquitetura de planta (ARQ) e aspecto de grãos (AG), das 20 famílias F <sub>2:3</sub> do C <sub>III</sub> selecionadas para recombinação. Safra da seca de 2015. Coimbra, MG .....	29
Tabela 15 – Médias de produtividade de grãos (PROD), em kg ha <sup>-1</sup> , severidade de mancha-angular (MA), arquitetura de planta (ARQ) e aspecto de grãos (AG) das 30 famílias superiores do C <sub>III</sub> , classificadas segundo o índice genótipo-ideótipo. Safra da seca de 2015, Coimbra, MG .....	30

## RESUMO

MELO, Vinícius Lopes de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2016. **Progresso genético e potencial de famílias e linhagens de dois ciclos de seleção recorrente no melhoramento de feijão vermelho.** Orientador: José Eustáquio de Souza Carneiro. Coorientadores: Pedro Crescêncio Souza Carneiro e Rodrigo Oliveira de Lima.

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é um dos alimentos mais importantes na dieta da população brasileira, sendo considerado uma importante fonte de proteínas, especialmente para a população de baixa renda. O Brasil é o maior produtor e consumidor dessa leguminosa, com destaque para o feijão do grupo comercial carioca, o mais cultivado e consumido no País. Todavia, outros tipos de feijão de menor importância apresentam preferências regionalizadas. É o caso, por exemplo, do feijão-vermelho, amplamente cultivado na Zona da Mata de Minas Gerais. Diante desse fato, a Universidade Federal de Viçosa (UFV) vem trabalhando também com o melhoramento do feijão-vermelho, visando ao desenvolvimento de cultivares que atendam à demanda dos produtores dessa região. Uma das estratégias utilizadas pelo Programa de Melhoramento de Feijão da UFV é a seleção recorrente, que por meio de ciclos sucessivos de seleção e recombinação dos melhores genótipos visa aumentar a frequência de alelos favoráveis na população. Este estudo teve como objetivos estimar o progresso genético de dois ciclos de seleção recorrente do Programa de Melhoramento de Feijão-Vermelho da UFV e avaliar o potencial genético de 400 famílias oriundas do último ciclo de seleção (C<sub>III</sub>). Para estimar o progresso genético, as 30 melhores linhagens dos ciclos C<sub>0</sub>, C<sub>I</sub> e C<sub>II</sub>, juntamente com cinco testemunhas, foram avaliadas na Estação Experimental do Departamento de Fitotecnia da UFV, em Coimbra, MG, nas safras de inverno de 2014 e seca de 2012 e 2015. Os tratamentos foram dispostos em blocos casualizados, com três repetições e parcelas constituídas por duas linhas de 2 m, espaçadas. As características avaliadas foram: produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>), arquitetura de planta e aspecto de grãos. Foram realizadas análises de variância individuais e conjunta e obtidas estimativas do progresso genético para todos os caracteres avaliados. Para avaliação das 400 famílias do quarto ciclo de seleção (C<sub>III</sub>), o experimento foi conduzido na safra da seca de 2015, no mesmo local mencionado anteriormente. Os tratamentos foram dispostos em látice simples 20×20 e em parcelas constituídas por uma linha de 1 m. As famílias foram avaliadas quanto à produtividade

de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), à arquitetura de planta, ao aspecto de grãos e à severidade de mancha-angular. As avaliações de arquitetura de planta, aspecto de grãos e severidade de mancha-angular foram mensuradas por meio da escala de notas. Na seleção das famílias utilizou-se o índice da distância genótipo-ideótipo. O progresso genético obtido com dois ciclos de seleção recorrente foi de 6,12% para produtividade de grãos, 3,41% para arquitetura de planta e 10,34% para aspecto de grãos. Trinta famílias  $F_{2:3}$  oriundas do último ciclo (ciclo  $C_{III}$ ) apresentaram potencial para extração de linhagens superiores, uma vez que, em média, se equipararam ao cultivar Ouro Vermelho quanto à produtividade e ao aspecto de grãos. Diante dos resultados obtidos conclui-se que a seleção recorrente é eficiente no melhoramento do feijão-vermelho, para os caracteres e as condições de estudo.

## ABSTRACT

MELO, Vinicius Lopes de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February of 2016. **Genetic progress and potential of families and lines after two recurrent selection cycles in red common bean breeding.** Adviser: José Eustáquio de Souza Carneiro. Co-advisers: Pedro Crescêncio Souza Carneiro and Rodrigo Oliveira de Lima.

The common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is one of the most important foods in the diet of the Brazilian population, for being a source of protein. Brazil is the largest producer and consumer of this legume, especially the commercial group "carioca", the cultivated most cropped and consumed in the country. However, other common bean types have regionalized preferences, is the case, we can cite the red common bean in Zona da Mata of Minas Gerais state. Thus, Federal University of Viçosa (UFV) has been worked on the improvement of red common beans, to meet the demand of farmers in that region. One of the breeding strategies used by the common bean breeding program at UFV is the recurrent selection. The objective of this research was to estimate the genetic progress of two recurrent selection cycles in red bean developed by breeding program of UFV; and to assess the genetic potential of 400 families from the last selection cycle (C<sub>III</sub>). To estimate the genetic progress, the best 30 lines of each cycle (C<sub>0</sub>, C<sub>I</sub> and C<sub>II</sub>), along with five checks, were evaluated in the winter of 2014 and drought of 2012 and 2015 seasons, at Experimental Station of Coimbra-MG. The genotypes were arranged in a randomized block design with three replications and each plot consisted of two lines of two meters, spaced at 0.50 m. We evaluated the following traits were: grain yield (kg ha<sup>-1</sup>), plant architecture and appearance of grain. After harvest, we carry out individual and joint variance analysis. In addition, we estimated genetic progress for all traits across three cycles of recurrent selection. For evaluation of the 400 families of the fourth cycle (C<sub>III</sub>), the experiment was conducted in the drought of 2015 at the experimental station of Coimbra-MG. The treatments were arranged in simple lattice 20×20. Each plot consisted of a line of a meter, spaced at 0.5 m. The families were evaluated for grain yield (kg ha<sup>-1</sup>), plant architecture, the appearance of grains and angular leaf spot severity. Evaluations of plant architecture, grain appearance and angular leaf spot severity were measured by the rating scale. In the selection of families used the ratio of the distance genotype-ideotype. The genetic progress obtained with two recurrent selection cycles was 6.12% for grain yield, 3.41% for plant architecture

and 10.34% for grain appearance. Thirty families  $F_{2:3}$  derived from the last cycle (cycle  $C_{III}$ ) showed potential for extraction of superior lines as, on average, equaled the cultivar Red Gold on the grain yield and grain appearance. These results show that the recurrent selection is effective in breeding the red common beans, for the traits and studied conditions.

# 1 INTRODUÇÃO

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é um dos mais importantes alimentos constituintes da dieta do brasileiro, por ser uma excelente fonte proteica, ser rico em ferro e possuir bom conteúdo de carboidratos. No Brasil, maior produtor e consumidor dessa leguminosa, o feijão é cultivado por pequenos, médios e grandes produtores, em diversos sistemas de produção e em praticamente todo o território nacional (EMBRAPA-CNPAF, 2007).

A maior parte do feijão produzido e consumido no Brasil é do tipo carioca. O segundo tipo mais importante é o feijão-preto, popular no Rio Grande do Sul, Santa Catarina, sul e leste do Paraná, Rio de Janeiro, sudeste de Minas Gerais e sul do Espírito Santo. Todavia, outros tipos, com nichos restritos de mercado, não deixam de ser importantes. É o caso, por exemplo, do feijão-vermelho na Zona da Mata de Minas Gerais. Esse tipo de feijão é relevante na economia dessa região, por ser o mais valorizado no mercado local (BORÉM; CARNEIRO 2015).

De acordo com Vieira, Borém, Ramalho *et al.* (2005), o melhoramento de feijão no Brasil é conduzido basicamente por empresas públicas, como: Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária (Embrapa), Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), Instituto Agrônômico de Campinas (IAC), Instituto Agrônômico do Paraná (Iapar), Universidade Federal de Viçosa (UFV) e Universidade Federal de Lavras (UFLA). Os feijões de grãos do tipo carioca e preto recebem maior atenção dos programas de melhoramento por serem os mais aceitos no País. No entanto não tem sido dada muita atenção aos feijões de pouca expressão nacional, como os de grãos vermelho e roxinho, por exemplo.

Apesar da recomendação de algumas cultivares de feijão-vermelho para Minas Gerais, a procura por novas cultivares tem sido crescente. Essa demanda é decorrente de uma série de caracteres que precisam ser melhorados nas cultivares em uso, como arquitetura ereta de plantas, resistência a doenças, aspecto de grãos e maior potencial de produção. Portanto, há necessidade de melhoramento e pesquisa nessa área, com o objetivo de fornecer cultivares superiores aos agricultores.

O Programa de Melhoramento da Universidade Federal de Viçosa (UFV), considerando a importância do feijão-vermelho na Zona da Mata mineira e a demanda por novas cultivares, propôs a dedicar-se também ao melhoramento desse tipo de grão.

A estratégia que vem sendo utilizada é a seleção recorrente. Essa metodologia tem sido empregada com sucesso em outras espécies autógamas como trigo (MAICH; GAIDO; MANERA *et al.*, 2000; GIL; MANERA; DUBLIS *et al.*, 2003), arroz (RANGEL; MORAIS; ZIMMERMANN, 2002) e em particular no feijoeiro (RANALLI; RUARO; DEL RE *et al.*, 1996; SINGH; TERÁN; MUÑOZ *et al.*, 1999; CUNHA; RAMALHO; ABREU, 2005; RAMALHO; ABREU; GUILHERME, 2005; MENEZES JÚNIOR; CARNEIRO; PETERNELLI *et al.*, 2013).

O sucesso do uso da seleção recorrente é dependente da eficiência na seleção das melhores famílias ou plantas para serem recombinadas. Também de fundamental importância é a estimativa do progresso genético ao longo dos ciclos de seleção, uma vez que estudos dessa natureza norteiam as ações futuras do melhorista na condução do programa de seleção recorrente. Objetivou-se com este trabalho estimar o progresso genético de dois ciclos de seleção recorrente no melhoramento de feijão-vermelho e avaliar o potencial genético de 400 famílias oriundas do ciclo C<sub>III</sub>.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Importância do feijoeiro

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é um dos alimentos mais importantes da dieta da população brasileira, por ser rico em proteínas, carboidratos, vitaminas, fibras e ferro. Para a população de baixo poder aquisitivo, o feijão é a principal fonte de proteína (MESQUITA; CORRÊA; ABREU *et al.*, 2007).

O Brasil é o maior produtor e consumidor mundial dessa leguminosa, com consumo *per capita* de 16,5 kg ano<sup>-1</sup> (MINISTÉRIO... – MAPA, 2015). A área brasileira plantada com feijão na safra 2014/2015 foi de 3.034,4 milhões de hectares, com produção total de 3.185,4 milhões de toneladas e produtividade média de 1.050 kg ha<sup>-1</sup> (COMPANHIA... – CONAB, 2015). O estado de Minas Gerais é o segundo maior produtor de feijão do Brasil, tendo produzido na safra 2014/2015 mais de 706,6 mil toneladas, em uma área de aproximadamente 340,1 mil hectares (COMPANHIA... – CONAB, 2015).

Apesar de figurar como o maior produtor mundial, a produtividade média de feijão no Brasil é de apenas 1050 kg ha<sup>-1</sup>, ainda considerada baixa diante do potencial da cultura. Isso se deve ao fato de que boa parte da produção vem de áreas com baixo uso de tecnologias, especialmente de pequenos e médios agricultores. No entanto os produtores que utilizam alta tecnologia, como irrigação e controle eficiente de pragas e doenças, conseguem ultrapassar os 3000 kg ha<sup>-1</sup>, o que demonstra o grande potencial da cultura (BORÉM; CARNEIRO, 2015).

No Brasil, são cultivados feijões de diferentes tipos de grãos, dentre eles o feijão-preto, carioca, vermelho, roxo, rosinha, mulatinho e manteigão. O consumo e a comercialização do feijão são definidos quanto à preferência em relação ao tipo de grão, considerando sua cor, seu tamanho e seu brilho. O feijão-vermelho, o mais aceito na região da Zona da Mata mineira, tem peso médio de 100 sementes de aproximadamente 25 g, formato elíptico e cor do grão vermelho brilhante (VIEIRA; BORÉM; RAMALHO *et al.*, 2005). O feijão do tipo carioca possui a maior preferência e é praticamente aceito em todo o território brasileiro, ocupando mais de 50% da área cultivada com esse grão (EMPRESA... – EMBRAPA, 2003). O segundo em preferência pelos consumidores é o feijão-preto, com predominância de consumo nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, sul e leste do Paraná, Rio de Janeiro, sudeste de

Minas Gerais e sul do Espírito Santo. O feijão-mulatinho é mais popular na Região Nordeste e os feijões do tipo roxo e rosinha têm maior aceitação comercial nos estados de Minas Gerais e Goiás (EMPRESA... – EMBRAPA, 2003).

No Brasil, o feijão pode ser cultivado durante todo o ano, em razão da variação das condições edafoclimáticas encontradas nas diferentes regiões do País. O cultivo concentra-se em três safras: safra das “águas” (primeira safra), com plantio nos meses de outubro e novembro; safra da “seca” (segunda safra), com plantio em fevereiro e março; e safra de outono/inverno ou feijão irrigado (terceira safra), com plantio de abril a junho (ARAÚJO; CAMELO, 2015).

Tanto o cultivo das “águas” quanto o da “seca” são considerados de risco. No caso do feijão das águas, a colheita pode coincidir com o período chuvoso, o que compromete a qualidade dos grãos e sua produção. No caso da safra da seca, a escassez de chuva é a maior limitação (ARAÚJO; FERREIRA, 2006; WANDER, 2007). Já a safra de inverno, ou irrigada, é considerada de menor risco, uma vez que a grande maioria desse feijão é produzida sobre alta tecnologia, com uso de irrigação (BORÉM; CARNEIRO, 2015).

## **2.2 Melhoramento genético do feijoeiro**

Tendo em vista que a maior parte do feijão produzido no Brasil é proveniente de pequenos e médios agricultores, com pouco uso de tecnologia no seu sistema de produção e baixos níveis de produtividade (FERREIRA; DEL PELOSO; FARIA, 2002), uma alternativa de baixo custo para o incremento da produtividade é o uso de cultivares melhoradas. A identificação de novas cultivares de feijão que substituam vantajosamente as cultivares existentes, atendendo aos objetivos dos agricultores e dos consumidores, tem sido um desafio constante para os programas de melhoramento da cultura (RAMALHO; ABREU, 2015).

Entre os programas de melhoramento de feijão no Brasil, podem-se destacar os conduzidos nas Universidades Federais de Viçosa (UFV) e de Lavras (UFLA), na Embrapa Arroz e Feijão, na Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado de Minas Gerais (Epamig), no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e no Instituto Agrônomo do Paraná (Iapar) (VIEIRA; BORÉM; RAMALHO *et al.*, 2005). Os principais objetivos dos programas de melhoramento do feijoeiro são o aumento da

produtividade de grãos, a arquitetura ereta de plantas, o aspecto comercial de grãos e a resistência às doenças.

No Brasil, as doenças mais importantes que podem prejudicar a cultura do feijão são o mosaico-dourado, o crestamento bacteriano comum, a antracnose, a ferrugem e a mancha-angular. O mofo-branco e a murcha de fusário são extremamente prejudiciais nos plantios irrigados de inverno (VIEIRA; BORÉM; RAMALHO *et al.*, 2005; PAULA JR.; VIEIRA; TEIXEIRA *et al.*, 2015). A utilização de práticas culturais, como o uso de fungicidas associados ao emprego de cultivares resistentes, tem sido a melhor alternativa para controlar doenças (SOUZA, 2012; PAULA JR.; VIEIRA; TEIXEIRA *et al.*, 2015).

A arquitetura ereta das plantas é outra característica muito importante no melhoramento do feijoeiro. Plantas de porte ereto facilitam tratos culturais, reduz a incidência de alguns patógenos, como o mofo-branco, e permite a colheita mecanizada com menores perdas (SILVA; ABREU; RAMALHO, 2009; PIRES; RAMALHO; ABREU *et al.*, 2014), o que tem sido umas das principais reivindicações dos agricultores. A arquitetura da planta do feijoeiro é função de vários outros caracteres, entre eles o hábito de crescimento, o número e o ângulo de ramificações, o número e o comprimento dos entrenós, a altura da planta, a distribuição das vagens na planta e o diâmetro do hipocótilo (SANTOS; VENCOVSKY, 1986; TEIXEIRA; RAMALHO; ABREU, 1999). Os programas de melhoramento de feijão, em geral, têm avaliado a arquitetura de plantas por meio de uma escala de notas de 1 a 9, em que 1 indica as plantas totalmente eretas e 9 as totalmente prostradas (COLLICCHIO; RAMALHO; ABREU, 1997; RAMALHO; PIROLA; ABREU, 1998; TEIXEIRA; RAMALHO; ABREU, 1999; MENEZES JÚNIOR; RAMALHO; ABREU, 2008; MENDES; RAMALHO; ABREU, 2009). Collicchio, Ramalho e Abreu (1997) consideram, além do hábito de crescimento, outros caracteres para avaliação da arquitetura do feijoeiro, por exemplo, o porte, a altura de inserção das vagens e o número e ângulo de ramificações. No entanto, esse tipo de avaliação é visual, resultando em baixa precisão experimental, devido à necessidade de experiência dos avaliadores para um julgamento preciso.

Para contornar os problemas mencionados, alternativas têm sido buscadas na avaliação da arquitetura do feijoeiro. Moura, Carneiro, Carneiro *et al.* (2013) concluíram que o ângulo de inserção dos ramos, a altura das plantas na colheita e o diâmetro do hipocótilo foram os principais caracteres relacionados à arquitetura de

plantas. Por meio da análise de trilha, constatou-se que o diâmetro do hipocótilo apresentou elevada associação de causa e efeito com nota de arquitetura de planta, elevada acurácia e precisão em sua avaliação. Além disso, essa variável possui maior facilidade de avaliação que as demais.

Fatores ambientais influenciam a arquitetura de plantas. Em ambientes de elevada umidade e temperatura, associados a solos ricos em matéria orgânica, há predisposição de as plantas se tornarem mais acamadas. Collicchio, Ramalho e Abreu (1997), ao avaliarem a arquitetura de plantas em diferentes safras, observaram aumento nas notas atribuídas a essa característica na safra das águas, quando comparadas às notas das safras de inverno e da seca. Esse resultado era esperado, pois o desenvolvimento vegetativo na safra das águas é maior, o que faz com que as plantas se tornem mais pesadas e acamem.

A obtenção de cultivares com porte ereto não é fácil, pois vários genes estão envolvidos no controle do caráter e este sofre influência do ambiente (RAMALHO; ABREU, 2015). Mesmo assim, grandes avanços foram alcançados nos últimos anos, resultando na recomendação de algumas cultivares adaptadas à colheita mecanizada.

A qualidade dos grãos também é fator limitante para a recomendação de novas cultivares. Esse caráter está diretamente relacionado com a aceitação comercial, sendo observadas, além da cor, do tamanho e do brilho, suas propriedades nutritivas e culinárias (BALDONI; TEIXEIRA; SANTOS, 2002). É necessário que o melhorista desenvolva cultivares que apresentem o tipo de grão exigido pelo mercado (SILVA, 2009). Buscam-se feijões com boa aparência, de fácil cozimento, que não sejam cascudos, que tenham bom sabor e apresentem caldo grosso e cor atrativa (VIEIRA; BORÉM; RAMALHO *et al.*, 2005).

Um ponto importante no melhoramento do feijão está relacionado à escolha do padrão comercial de grão. Diferentes tipos de grãos são cultivados no Brasil, e a preferência por cada tipo varia de acordo com a região (VIEIRA; BORÉM; RAMALHO *et al.*, 2005). Na Zona da Mata mineira, por exemplo, predominam o cultivo e o consumo do feijão-vermelho. A procura por cultivares melhoradas de feijão-vermelho é crescente nessa região, o que tem chamado atenção dos melhoristas. Portanto, a Universidade Federal de Viçosa se disponibilizou a trabalhar com esse tipo de grão.

### 2.3 Seleção recorrente no melhoramento do feijoeiro

Dentre as estratégias empregadas no melhoramento do feijoeiro, destacam-se a introdução de plantas, a seleção de linhagens puras e a hibridação. Entretanto, nos últimos anos, alguns programas de melhoramento têm utilizado também a seleção recorrente. Essa estratégia é um processo dinâmico e contínuo que visa alterar a média populacional para um ou mais caracteres, sem esgotar a variabilidade genética da população (HALLAUER, 1992). Ramalho, Abreu, Santos *et al.* (2001) descreveram a seleção recorrente como um sistema cíclico de melhoramento que tem a finalidade de aumentar a frequência de alelos favoráveis, envolvendo obtenção de famílias, avaliação e intercruzamentos das melhores. A primeira citação da terminologia foi feita por Hull (1945). Embora a seleção recorrente seja mais usual em plantas alógamas, seu uso no melhoramento de plantas autóginas tem aumentado nos últimos anos.

A condução de um programa de seleção recorrente envolve três etapas básicas: a formação da população-base, a avaliação e seleção e os intercruzamentos das melhores (BORÉM; MIRANDA, 2013). É um método dinâmico, em que os melhores indivíduos ou famílias selecionados em uma população são recombinados de maneira direcionada, organizada e predeterminada, evitando que o melhorista perca tempo definindo quais linhagens devem ser cruzadas, ou até mesmo que o programa perca a continuidade. Assim, constata-se que a grande vantagem da seleção recorrente em autóginas é que sua utilização deixa o programa de melhoramento mais organizado (MENEZES JÚNIOR, 2011).

Um programa de seleção recorrente começa com a seleção e a recombinação dos genitores para formar a população-base, que deve apresentar média alta para os caracteres de interesse e variabilidade genética suficiente para que ocorra ganho com a seleção (RAMALHO; ABREU; SANTOS, 2001). Portanto, como genitores do programa de seleção recorrente devem ser escolhidas linhagens mais adaptadas às condições de cultivo e divergentes. Vieira, Borém e Ramalho *et al.* (2005) recomendam utilizar de 12 a 20 genitores para constituir a população-base, mas se o número de genitores for muito pequeno a probabilidade de reunir a maioria dos alelos favoráveis para a característica em questão também é menor.

Nesse sentido, uma metodologia que vem sendo aplicada com sucesso em programas de seleção recorrente é a de Bearzoti, descrita por Ramalho, Abreu e Santos

(2001), em que os genitores são cruzados seguindo um esquema de dialelo circulante, em que cada um participa de dois cruzamentos em cada ciclo de seleção. Os cruzamentos são direcionados de modo que, nos sucessivos intercruzamentos, a contribuição de cada genitor seja a mesma, apresentando nas gerações mais avançadas maior número de genitores em sua genealogia.

A próxima etapa da seleção recorrente, após a obtenção da população-base, é a avaliação e seleção dos melhores indivíduos ou famílias a serem recombinados. A seleção pode ser massal ou utilizando algum tipo de família. A seleção massal ou fenotípica no âmbito de indivíduo, recomendada para caracteres de alta herdabilidade, normalmente visual, tem se mostrado eficiente para alguns caracteres, como arquitetura de planta (KELLY; ADAMS, 1987), mancha-angular (AMARO; ABREU; RAMALHO *et al.*, 2007) e precocidade (SILVA; RAMALHO; ABREU, 2007).

Tratando-se de caracteres quantitativos, a seleção é mais eficiente quando é baseada no desempenho das progênies, portanto as famílias endogâmicas são avaliadas por duas ou três gerações, em ensaios com repetições (RAMALHO; ABREU; SANTOS, 2001). Nesse caso, o desempenho das progênies com as estimativas dos valores genotípicos é mais preciso, já que as contribuições dos efeitos ambientais e residuais e da interação genótipos x ambientes são reduzidas (SILVA, 2009; ALVES, 2012).

Para obtenção de um novo ciclo de seleção, os melhores indivíduos ou famílias selecionados e avaliados são intercruzados. Quando se utilizam plantas individuais na sua seleção, elas podem ser recombinadas no campo, o que torna o processo mais ágil. Já a seleção com base na avaliação de famílias leva de dois a três anos para obter um ciclo no feijoeiro (RAMALHO; ABREU; SANTOS, 2005). Independentemente da metodologia utilizada, o processo é repetido a cada ciclo de seleção, avaliação e seleção de indivíduos ou famílias e recombinação das progênies superiores.

No caso do feijoeiro, o cruzamento manual é a melhor opção na etapa do intercruzamento, sendo realizado de maneira direcionada. O emprego de macho esterilidade no feijoeiro é possível, no entanto apresenta algumas dificuldades, como a identificação, a manutenção das plantas machos estéreis e a dispersão natural do pólen, que não ocorre (FREITAS, 2012).

As vantagens da seleção recorrente podem ser destacadas: aquisição de maior variabilidade genética por meio dos intercruzamentos entre vários genitores; aumento da frequência dos alelos favoráveis por meio dos repetidos ciclos de seleção; maior nível

de recombinação gênica devido aos inter cruzamentos sucessivos; facilidade de adição de germoplasma exótico na população durante a etapa de recombinação; obtenção de linhagens superiores a cada ciclo de seleção; e ainda a possibilidade de inclusão de cultivares na recombinação, mesmo que o programa já esteja em andamento (GERALDI, 2005; RAMALHO; ABREU; SANTOS, 2005).

A eficiência do método de seleção recorrente, com base na avaliação e seleção de famílias, tem sido comprovada no melhoramento de espécies autógamas, como arroz (RANGEL; MORAIS; ZIMMERMANN, 2002) e trigo (GIL; MANERA; DUBLIS *et al.*, 2003). Na cultura do feijão, especialmente no melhoramento do feijão-carioca, vários trabalhos mostraram resultados positivos com o uso da seleção recorrente (RAMALHO; ABREU; SANTOS, 2005; SILVA; RAMALHO; ABREU; 2007; SILVA; RAMALHO; ABREU *et al.*; 2010; CARNEIRO, 2013; LEITE, 2014). Também não foi diferente no melhoramento do feijão-vermelho, em que esse tipo de seleção vem se mostrando muito promissora, por exemplo, nos trabalhos de seleção recorrente conduzidos por Menezes Júnior (2011) e Freitas (2012), com ganhos expressivos em produtividade, aspecto de grãos e resistência à ferrugem e mancha-angular.

Por volta do final da década de 1990 a UFV iniciou seus trabalhos com o feijão-vermelho, adotando um programa de seleção recorrente, com intuito de obter linhagens superiores às das cultivares existentes e utilizadas pelos agricultores da região. O resultado desse trabalho foi a recomendação do cultivar Ouro Vermelho (CARNEIRO; SILVA; PAULA JR. *et al.*, 2006). Esse cultivar teve boa aceitação pelos agricultores, apresentando ganhos expressivos em produtividade, sendo 30% superior à do cultivar Vermelhinho, que na década de 2000 era o feijão mais cultivado na região da Zona da Mata mineira.

## **2.4 Estimativas de progresso genético**

Um ponto importante em um programa de seleção recorrente é a estimação do progresso genético. Esse deve ser realizado periodicamente, visando orientar o melhorista na tomada de decisões para a condução dos ciclos seguintes, buscando alternativas para aumentar o ganho genético (MENEZES JÚNIOR; RAMALHO; ABREU, 2008).

O progresso genético diz respeito às alterações obtidas no desempenho médio dos genótipos durante cada ciclo de seleção, para as características de interesse. Essas alterações podem ocorrer em magnitude e sentido variados, dependendo da estratégia e dos critérios de seleção utilizados. Nesse contexto, em um programa de melhoramento, uma das funções importantes do melhorista é identificar critérios de seleção capaz de ocasionar alterações na direção desejada, para as características de interesse (REIS; REIS; CRUZ *et al.*, 2004). Em plantas alógamas a estimativa do progresso genético com a seleção recorrente é facilmente obtida quando são utilizadas populações dos diferentes ciclos, pois a cada recombinação o material volta à condição de equilíbrio de Hardy-Weinberg. Em autógamas esse equilíbrio não é reestabelecido a cada intercruzamento; as médias são alteradas devido às frequências alélicas e à presença de dominância (RAMALHO; ABREU; SANTOS, 2001).

Diversas metodologias têm sido empregadas para estimar o progresso genético, podendo ser citadas: a comparação das populações F<sub>2</sub> obtidas após cada recombinação; o uso de testemunhas comuns na avaliação das famílias de cada ciclo (MENEZES JÚNIOR; RAMALHO; ABREU, 2008); a comparação de famílias extraídas simultaneamente em populações de vários ciclos de seleção (SILVA; RAMALHO; ABREU, 2007); e a utilização das melhores linhagens identificadas nos diferentes ciclos (RAMALHO; ABREU; SANTOS, 2005; MENEZES JÚNIOR, 2011; FREITAS, 2012).

A metodologia utilizando as melhores linhagens de cada ciclo seletivo, em princípio, é superior às demais devido às linhagens serem selecionadas depois de diversas gerações de avaliação e em diferentes épocas de semeadura, obtendo-se maior confiança na identificação de linhagens superiores (MENEZES JÚNIOR; RAMALHO; ABREU, 2008; FREITAS, 2012).

Estimando o progresso genético por meio da avaliação de 45 famílias S<sub>0:2</sub>, de dois ciclos de seleção recorrente, Ranalli, Ruaru, del Re *et al.* (1996) obteve ganho genético para produtividade de grãos de 55% do ciclo zero para o ciclo 1 e de 25% do ciclo 1 para o ciclo 2.

Avaliando duas populações de feijão para resistência ao mofo-branco, Terán e Singh (2010) obtiveram ganho de 12% para uma população e 5% para a outra, utilizando famílias F<sub>4</sub> para comparação de três ciclos de seleção. Singh, Terán, Muñoz *et al.* (1999), utilizando famílias F<sub>4</sub> para comparar três ciclos seletivos para produtividade de grãos no feijoeiro, estimaram o progresso genético para duas populações, com ganho médio por ciclo seletivo de 15% em ambas as populações.

Utilizando as cinco melhores linhagens de cada ciclo de seleção, Ramalho, Abreu e Santos (2005) estimaram o ganho genético após quatro ciclos de seleção recorrente, para os caracteres produtividade e aspecto de grãos em feijão do tipo carioca. O ganho para produtividade foi de 5,7% e para aspecto de grãos de 10%.

Amaro, Abreu, Ramalho *et al.* (2007) avaliaram cinco ciclos de seleção recorrente em feijoeiro para resistência à mancha-angular, conduzidos na safra da seca, e estimaram ganho de 6,4% por ciclo para esse caráter. Para a produtividade de grãos, o ganho por ciclo foi de 8,9%.

Com o objetivo de estimar o progresso genético após três ciclos de seleção recorrente, visando à obtenção de linhagens de feijão-carioca que associem alta produtividade, boa arquitetura e grãos comercialmente aceitos, Menezes Junior, Ramalho e Abreu (2008) obtiveram progresso genético de 3,10% para os três caracteres, simultaneamente.

Alves (2012) estimou o progresso genético no melhoramento do feijão-carioca, utilizando duas metodologias. Com a avaliação de famílias de cada ciclo, utilizando testemunhas em comum, o progresso genético para produtividade de grãos foi de 23,7, 14,2 e 16,6%, quando estimados a partir de famílias na geração  $F_{2:3}$ ,  $F_{2:4}$  e  $F_{2:5}$ , respectivamente. Pela avaliação simultânea das melhores famílias  $F_{2:6}$  de cada ciclo, foram detectados ganho de 9,0 e 8,0% nas safras de inverno e águas de 2011. O autor concluiu que houve uma superestimativa do progresso genético quando se utilizou avaliação das famílias em cada ciclo com o uso de testemunhas comuns, comparado à avaliação simultânea das melhores famílias de cada ciclo.

Quando se trata especificamente do melhoramento do feijão-vermelho, os resultados com o uso da seleção recorrente também foram muito promissores. Menezes Júnior (2011) obteve ganhos de 7,5% para produtividade de grãos, 7,0% para aspecto de grãos, 33,4% para resistência à ferrugem e 13,2% para resistência à mancha-angular, em um ciclo de seleção recorrente. Freitas (2012) também obteve sucesso trabalhando com feijão-vermelho e empregando a seleção recorrente como estratégia de melhoramento. Os ganhos obtidos com dois ciclos de seleção foram de 40,05% para produtividade de grãos, 59,21% para severidade de ferrugem, 12,90% para arquitetura de plantas e 12,76% para aspecto de grãos.

## **3 MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.1 Local de condução dos experimentos**

Os experimentos foram conduzidos na Estação Experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), no município de Coimbra, no estado de Minas Gerais, localizado a 690 m de altitude, 20°45' S de latitude e 42° 51' W de longitude.

### **3.2 Estratégia de melhoramento empregada**

A estratégia que vem sendo empregada pela Universidade Federal de Viçosa no melhoramento do feijão-vermelho é a seleção recorrente. Até o momento foram realizados dois ciclos de seleção. A cada ciclo, na geração F<sub>2</sub>, foram derivadas famílias, que foram avaliadas visando identificar as melhores para recombinação e também as melhores para extração de linhagens. Detalhes sobre a condução do programa são apresentados a seguir.

#### **3.2.1 Obtenção da população-base (C<sub>0</sub>)**

O programa de seleção recorrente para o melhoramento do feijão-vermelho teve início na UFV no final da década de 1990. O cultivar Vermelhinho, único cultivar de grãos vermelhos disponível para os agricultores da Zona da Mata mineira, foi cruzada com os seguintes genitores: Aporé, Pérola, IAPAR31, IAPAR81, AN9022180, LR720982CP, AFR19521, AFR19535, AB136 e Vermelho 2157. Foram obtidas 18 populações segregantes, oriundas de cruzamentos simples, triplos e de retrocruzamentos com o cultivar Vermelhinho (MENEZES JÚNIOR, 2011). Essas populações constituíram a base (ciclo C<sub>0</sub>) para o programa de seleção recorrente de feijão-vermelho que vem sendo conduzido na UFV (Tabela 1).

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

<b>Cruzamento</b>	<b>Genealogia</b>
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 Obtenção do ciclo C<sub>I</sub>

Foram derivadas famílias das 18 populações do ciclo C<sub>0</sub>, que foram avaliadas quanto à produtividade de grãos, aos aspectos de grãos e às severidades de mancha-angular e ferrugem. Para constituir os genitores utilizados na obtenção do ciclo C<sub>I</sub>, foi selecionada a melhor família de cada cruzamento do ciclo C<sub>0</sub>. O cruzamento 18 (Vermelhinho/LR720982CP//Vermelhinho/AFR19521) foi excluído do programa, por não apresentar famílias com potencial para seleção. As 17 famílias selecionadas e os novos genitores (BRS Timbó, VR-2 e VR-3) foram utilizados na recombinação e obtenção do ciclo C<sub>I</sub> (Tabela 2).

### 3.2.3 Obtenção do ciclo C<sub>II</sub>

Na obtenção da população do ciclo C<sub>II</sub> foram introduzidos novos genitores nos cruzamentos, além das melhores famílias selecionadas no ciclo C<sub>I</sub>. Plantas da melhor família de cada um dos 20 cruzamentos do ciclo C<sub>I</sub> foram cruzadas com plantas F<sub>1</sub> oriundas de cruzamentos envolvendo uma linhagem de feijão-vermelho fonte de resistência à ferrugem (OVR) e outros 20 genitores de porte ereto (Tabela 3).

**Tabela 2** – Cruzamentos utilizados na composição da população do ciclo C<sub>I</sub>

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

### 3.2.3 Obtenção do ciclo C<sub>III</sub>

No ciclo C<sub>II</sub>, foram derivadas 19 famílias de cada cruzamento (Tabela 3). Essas famílias foram avaliadas por duas gerações quanto à produtividade de grãos, à arquitetura de planta, ao aspecto de grãos e à severidade de ferrugem e mancha-angular. A melhor família de cada cruzamento, selecionada com base no índice genótipo-ideótipo, foi utilizada para recombinação e obtenção do ciclo C<sub>III</sub>. O índice da distância genótipo-ideótipo fixa o valor ótimo para cada característica, criando, assim, um ideótipo. Obtém-se a diferença entre a média de cada característica e o valor atribuído ao ideótipo, e finalmente calcula-se, para cada genótipo, uma distância em relação a

**Tabela 3** – Cruzamentos utilizados na composição da população do ciclo C<sub>II</sub>

<b>Cruzamento</b>	<b>Genealogia</b>
RVCII433	Horizonte / OVR //// Vermelhinho / AB136 // Vermelhinho / AFR19521 /// Vermelhinho // Vermelhinho / IAPAR31
RVCII434	A170 / OVR //// Vermelhinho // Vermelhinho / AN9022180 /// Vermelhinho // Vermelhinho / Aporé
RVCII435	CNFC9437 / Rudá R // OVR //// Vermelhinho // Vermelhinho / Pérola /// Vermelhinho / Pérola // Vermelhinho / AFR19521
RVCII436	A525 / OVR //// Vermelhinho / AN9022180 // Vermelhinho / Vermelho2157 /// Vermelhinho / IAPAR31 // Vermelhinho / AFR19535
RVCI 437	VC6 / OVR //// Vermelhinho / AB136 // Vermelhinho / Vermelho2157 /// Vermelhinho // Vermelhinho / LR720982CP
RVCII438	Supremo / OVR //// Vermelhinho // Vermelhinho / IAPAR31 /// Vermelhinho // Vermelhinho / IAPAR81
RVCII439	CNFC9466 / OVR //// Vermelhinho // Vermelhinho / Aporé /// Vermelhinho / Aporé // Vermelhinho / AFR19521
RVCII440	A805 / OVR //// Vermelhinho / Pérola // Vermelhinho / AFR19521 /// Vermelhinho / Pérola // Vermelhinho / AB136
RVCII441	UTF0013 / Rudá R // OVR //// Vermelhinho / IAPAR31 // Vermelhinho / AFR19535 /// Vermelhinho / IAPAR31 // Vermelhinho / AB136
RVCII442	VP9 / OVR //// Vermelhinho // Vermelhinho / LR720982CP /// Vermelhinho / LR720982 // Vermelhinho / AB136
RVCII443	México / Rudá // OVR //// Vermelhinho // Vermelhinho / IAPAR81 /// Vermelhinho / AFR19521 // Vermelhinho / Vermelho2157
RVCII444	Rudá R / OVR //// Vermelhinho / Aporé // Vermelhinho / AFR19521 /// Vermelhinho / AB136 // Vermelhinho / Vermelho2157
RVCII445	Pérola / Ouro Negro // OVR //// Vermelhinho / Pérola // Vermelhinho / AB136 /// VR-2
RVCII446	Pérola R / OVR //// Vermelhinho / IAPAR31 // Vermelhinho / AB136 /// VR-3
RVCII447	Rudá / MAR2 // OVR //// Vermelhinho / LR720982 // Vermelhinho / AB136 /// BRS Timbó
RVCII448	Rudá R / OVR //// Vermelhinho / AFR19521 // Vermelhinho / Vermelho2157 /// Vermelhinho / AB136 // Vermelhinho / AFR19521
RVCII449	Rudá / BAT332 // OVR //// Vermelhinho / AB136 // Vermelhinho / Vermelho2157 /// Vermelhinho // Vermelhinho / AN9022180
RVCII450	Rudá R / OVR //// VR-2 /// Vermelhinho // Vermelhinho / Pérola
RVCII451	CAL143 / OVR //// VR-3 /// Vermelhinho / AN9022180 // Vermelhinho / Vermelho2157
RVCII452	BJ4 / OVR //// BRS Timbó /// Vermelhinho / AB136 // Vermelhinho / Vermelho2157

esse ideótipo, sendo essa distância o próprio índice (CARVALHO; CRUZ; VIANA *et al.*, 2002). Na recombinação foi utilizado o esquema de dialelo circulante, conforme proposto por Bearzoti e descrito por Ramalho, Abreu e Santos (2001), em que cada uma das 20 famílias foi cruzada com outras duas.

### **3.2.4 Obtenção e avaliação das famílias do ciclo C<sub>III</sub>**

As sementes F<sub>1</sub>s resultantes das 20 combinações híbridas que compuseram a população do ciclo C<sub>III</sub> foram multiplicadas para obtenção das sementes F<sub>2</sub>. Em cada uma das 20 populações foram derivadas 19 famílias, que foram avaliadas juntamente com 20 testemunhas. O experimento foi conduzido na Estação Experimental de Coimbra-MG, na safra da seca de 2015, no delineamento experimental em látice simples 20 × 20, com parcelas de uma linha de 1 m. A adubação e os tratos culturais realizados nos experimentos foram de acordo com as recomendações técnicas para a cultura do feijão na região (RAMALHO; ABREU; GUILHERME, 2014).

As famílias foram avaliadas quanto à produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>), à arquitetura de plantas, ao aspecto de grãos e à severidade de mancha-angular. As avaliações de arquitetura de planta, aspecto de grãos e severidade de mancha-angular foram realizadas por meio de escala de notas.

A arquitetura de planta foi avaliada por meio de escala de notas de 1 a 5, em que 1 equivale à planta ereta com uma haste e poucas ramificações; 2 à planta ereta com algumas ramificações, guia curta; 3 à planta semiprostrada com ramificações, guia mediana; 4 à planta prostrada com ramificações, guia longa; e 5 à planta completamente prostrada com muitas ramificações, guias muito longas (RAMALHO; PIROLA; ABREU, 1998).

Para avaliação do aspecto de grãos utilizou-se uma escala com notas de 1 a 5, proposta por Ramalho, Pirola e Abreu (1998) e adaptada para avaliação de feijão-vermelho, em que 1 equivale ao grão vermelho brilhante, não achatado, formato elíptico e peso médio de 100 sementes entre 22 e 24 g, considerado como padrão; 2 ao grão vermelho com deficiência em uma das características mencionadas no padrão; 3 ao grão vermelho com deficiência em duas das características mencionadas no padrão; 4 ao grão vermelho com deficiência em três das características mencionadas no padrão; e 5 ao grão totalmente fora do padrão.

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

Os dados foram submetidos à análise de variância. Todos os efeitos foram considerados aleatórios, exceto a média. O modelo estatístico utilizado foi:

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

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 ( $i = 1, 2, \dots, n$ );

$b_j$  = efeito da repetição  $j$ , sendo  $j = 1$  e  $2$  na  $F_{2;3}$ ;

$P_{l(j)}$  = efeito do bloco  $l$  dentro da repetição  $j$ , sendo  $l = 1, 2, 3, \dots, n$ ; e

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

Na utilização do índice da distância genótipo-ideótipo, os pesos econômicos foram estabelecidos para as características avaliadas, definindo os valores ótimos das variáveis, bem como o intervalo dos valores considerados favoráveis (Tabela 4). Portanto, na obtenção do ideótipo foi considerado como valor ótimo a maior média observada, no caso da produtividade de grãos. Em relação à arquitetura de plantas, à severidade de mancha-angular e ao aspecto de grãos, adotou-se a menor média como valor ótimo.

**Tabela 4** – Peso econômico, valor ótimo e limites inferior e superior no estabelecimento do índice genótipo-ideótipo para seleção das 30 linhagens do C<sub>III</sub>

Variável	Peso	Ótimo	Limite Inferior	Limite Superior
Produtividade	2	4810	3246	4810
Mancha-angular	1	5,00	6,39	5,00
Arquitetura	1	3,25	4,21	3,25
Aspecto de grãos	2	1,50	2,40	1,50

Por meio do índice da distância genótipo-ideótipo foram identificadas as melhores linhagens do C<sub>III</sub>.

As análises estatísticas foram realizadas, utilizando os recursos computacionais do programa genes (CRUZ, 2013).

### 3.3 Estimativas do progresso genético

A estratégia utilizada para estimar o progresso genético (PG) com a seleção recorrente foi a comparação das linhagens selecionadas em cada ciclo de seleção. Para isso, foram avaliadas simultaneamente as 30 melhores linhagens dos ciclos C<sub>0</sub>, C<sub>I</sub> e C<sub>II</sub>. Foram avaliadas simultaneamente as 90 linhagens e cinco testemunhas (Vermelhinho, Vermelho 2157, AFR 140, OVR e Ouro Vermelho), em Coimbra, MG, nas safras da seca de 2012, inverno de 2014 e seca de 2015. Os tratamentos foram dispostos em blocos casualizados, com três repetições. As parcelas foram constituídas de duas linhas de 2 m, espaçadas de 0,5 m. A adubação e os tratamentos culturais foram realizados conforme recomendado para a cultura na região (RAMALHO; ABREU; GUILHERME, 2014). As características avaliadas foram: produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>), arquitetura de plantas e aspecto de grãos nas três safras. As escalas utilizadas na avaliação da arquitetura de planta e do aspecto de grãos foram as mesmas apresentadas anteriormente.

Inicialmente, foi realizada a análise de variância individual. O efeito de tratamento e a média foram considerados fixos.

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

em que

$Y_{ij}$  = valor observado na parcela que recebeu o tratamento  $i$ , no bloco  $j$ ;

$m$  = média geral do experimento;

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

$b_j$  = efeito do bloco  $j$ ; e

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

Em seguida foram realizadas as análises de variância conjuntas. Os efeitos de tratamentos foram considerados como fixos e o de ambientes como aleatórios.

$$Y_{ijk} = m + g_i + b/a_{jk} + a_j + ga_{ij} + e_{ijk}$$

em que

$Y_{ijk}$  = observação referente ao genótipo  $i$ , no ambiente  $j$  e no bloco  $k$ ;

$m$  = média geral do experimento;

$g_i$  = efeito do genótipo  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, 95$ );

$b/a_{jk}$  = efeito ao bloco  $k$  dentro de ambiente  $j$ ;

$a_j$  = efeito do ambiente  $j$  ( $j = 1, 2, 3$ );

$ga_{ij}$  = efeito da interação do genótipo  $i$  no ambiente  $j$ ; e

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

Por meio da comparação dos valores médios das linhagens de cada ciclo, avaliados nas safras de inverno 2014, seca 2012 e 2015 foi possível calcular o progresso genético (PG) com a seleção recorrente, utilizando-se os estimadores.

a) PG entre o ciclo 0 e o ciclo 1:

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

em que

$\bar{X}_{C_1}$  = média das 30 linhagens do ciclo 1; e

$\bar{X}_{C_0}$  = média das 30 linhagens do ciclo 0.

b) PG entre o ciclo 1 e o ciclo 2:

$$PG(\%) = \left( \frac{\bar{X}_{c_{II}} - \bar{X}_{c_I}}{\bar{X}_{c_I}} \right) \times 100$$

em que

$\bar{X}_{c_{II}}$  = média das 30 linhagens do ciclo 2; e

$\bar{X}_{c_I}$  = média das 30 linhagens do ciclo 1.

c) PG entre o ciclo 0 e o ciclo 2:

$$PG(\%) = \left( \frac{\bar{X}_{c_{II}} - \bar{X}_{c_0}}{\bar{X}_{c_0}} \right) \times 100$$

em que

$\bar{X}_{c_{II}}$  = média das 30 linhagens do ciclo 2; e

$\bar{X}_{c_0}$  = média das 30 linhagens do ciclo 0.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados referem-se à avaliação de linhagens oriundas dos ciclos C<sub>0</sub>, C<sub>I</sub> e C<sub>II</sub> e à avaliação de famílias F<sub>2:3</sub> oriundas do último ciclo (C<sub>III</sub>) do Programa de Seleção Recorrente de Feijão-Vermelho da UFV. Os coeficientes de variação experimental (CVs), na maioria dos experimentos, situaram-se abaixo dos normalmente relatados na literatura para experimentos dessa natureza com a cultura do feijão (MARQUES JÚNIOR; RAMALHO, 1997; MATOS; RAMALHO; ABREU, 2007). Para a produtividade, os CVs variaram de 12 a 23%; para arquitetura de plantas, de 5 a 7,5%; para aspecto de grãos, de 15 a 18%; e para severidade de mancha-angular o CV foi de 10%. Além disso, a média de produtividade de grãos foi relativamente alta em todos os experimentos, variando de 3256 a 3486 kg ha<sup>-1</sup>.

### 4.1 Avaliação de linhagens de dois ciclos de seleção recorrente

Observou-se efeito significativo para a fonte de variação linhagens para todas as características avaliadas nos diferentes ambientes, demonstrando variabilidade genética na população em estudo (Tabela 5). A existência de variabilidade para o caráter de interesse é primordial em qualquer programa de melhoramento, para que ganhos com a seleção continuem a ser obtidos.

O contraste linhagem *vs.* testemunha foi significativo para produtividade nas três safras, enquanto para arquitetura de planta houve efeito significativo somente na safra de inverno de 2014 (Tabela 5). Para aspecto de grãos foi observado efeito significativo do contraste nas safras de inverno de 2014 e seca de 2015. Em todas as safras, as linhagens produziram mais que as testemunhas. De modo geral, pode-se afirmar que as linhagens avaliadas não deixam a desejar quanto ao aspecto comercial dos grãos, pois as notas médias de aspecto de grãos nas três safras foi inferior a 2,5, numa escala de 1 a 5. Já a arquitetura de plantas é um fator a ser melhorado, pois as notas médias observadas para esse caráter foram superiores a 3,5 (Tabela 5).

Ao se desdobrar a fonte de variação linhagens, observou-se diferença significativa entre os ciclos para todos os caracteres e em todos os ambientes, o que permite concluir que pelo menos um contraste entre médias dos diferentes ciclos é diferente de zero.

**Tabela 5** – Resumo das análises de variância da produtividade de grãos (PROD), em kg ha<sup>-1</sup>, arquitetura de planta (ARQ) e aspecto de grãos (AG), referentes à avaliação de linhagens de feijão-vermelho nas safras da seca de 2012 e 2015 e inverno de 2014. Coimbra, MG

FonteT de Variação	GL	Quadrado Médio								
		Seca 2012			Inverno 2014			Seca 2015		
		PROD	ARQ	AG	PROD	ARQ	AG	PROD	ARQ	AG
Tratamentos	94	541232,499**	0,102**	0,555**	532916,387**	0,119**	0,9178**	329894,565**	0,176**	0,849**
Linhagens (L)	89	519285,240**	0,098**	0,442**	516600,193*	0,081**	0,892**	317804,688**	0,1765**	0,758**
C <sub>0</sub>	29	451641,494*	0,112**	0,442**	329677,054 <sup>ns</sup>	0,055 <sup>ns</sup>	0,4273**	166614,296 <sup>ns</sup>	0,103 <sup>ns</sup>	0,946**
C <sub>I</sub>	29	533346,508**	0,072 <sup>ns</sup>	0,464**	600973,934*	0,067*	1,585**	355872,786**	0,120 <sup>ns</sup>	0,372**
C <sub>II</sub>	29	529248,762**	0,077*	0,376**	494978,183 <sup>ns</sup>	0,102**	0,648**	247836,259 <sup>ns</sup>	0,284**	0,659**
Entre ciclos	2	2303519,438**	0,699**	0,699*	2317085,708**	0,4332**	1,200**	2972619,91**	0,833**	4,899**
Testemunha (T)	4	767934,082*	0,208**	3,058**	468864,708 <sup>ns</sup>	0,871**	0,317*	143016,823 <sup>ns</sup>	0,192 <sup>ns</sup>	2,400**
L vs, T	1	1587732,220*	0,023 <sup>ns</sup>	0,622 <sup>ns</sup>	2241264,439*	0,562**	5,600**	2153404,557**	0,038 <sup>ns</sup>	2,760**
Erro	188	288659,941	0,050	0,162	346786,928	0,0381	0,099	190855,357	0,088	0,194
Média Geral		3480	3,6	2,3	3462	3,7	2,0	3486	3,9	2,3
Média Linhagens		3497	3,6	2,25	3483	3,7	2,0	3507	3,9	2,3
Média L do C <sub>0</sub>		3510	3,7	2,3	3445	3,8	2,0	3392	4,0	2,6
Média L do C <sub>I</sub>		3379	3,7	2,3	3345	3,8	2,0	3413	4,0	2,2
Média L do C <sub>II</sub>		3604	3,5	2,1	3659	3,7	2,0	3716	3,9	2,1
Média T		3163	3,7	2,5	3086	3,5	1,4	3118	3,9	2,8
CV (%)		15,4	6,1	17,7	17,0	5,2	15,5	12,5	7,5	18,7

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

Em média, as linhagens do ciclo C<sub>II</sub> foram superiores às linhagens dos ciclos C<sub>0</sub> e C<sub>I</sub> quanto à produtividade de grãos (Tabela 5). Vale salientar que para aspectos de grãos e arquitetura de plantas as menores notas indicam plantas com porte mais ereto e de melhor aspecto comercial de grãos, o que foi observado (Tabela 5) para o aspecto de grãos, ciclo C<sub>II</sub> e C<sub>I</sub>, que obtiveram médias menores em relação ao ciclo C<sub>0</sub> na safra da seca de 2015, evidenciando redução nas notas para o aspecto de grãos.

Para produtividade de grãos, as interações linhagens x ambientes e ciclos x ambientes foram não significativas, indicando que tanto as linhagens quanto os ciclos apresentaram comportamento consistente nos três ambientes (Tabela 6). Para arquitetura de plantas, somente a interação ciclos x ambientes foi significativa. Já para aspecto de grãos, todas as interações foram significativas. Contudo, para arquitetura de planta e aspecto de grãos, as linhagens não apresentaram grandes diferenças, mesmo o efeito de linhagens sendo significativo.

**Tabela 6** – Resumo das análises de variância conjunta da produtividade de grãos (PROD), em kg ha<sup>-1</sup>, arquitetura de planta (ARQ) e aspecto de grãos (AG) referentes à avaliação de linhagens de feijão-vermelho nas safras da seca de 2012 e 2015 e inverno de 2014. Coimbra, MG

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio		
		PROD	ARQ	AG
Ambiente (A)	2	46428,193 <sup>ns</sup>	7,688 <sup>**</sup>	7,949 <sup>**</sup>
Tratamento (T)	94	777297,745 <sup>**</sup>	0,256 <sup>**</sup>	0,930 <sup>**</sup>
Linhagens (L)	89	714286,694 <sup>**</sup>	0,227 <sup>**</sup>	0,807 <sup>**</sup>
LC <sub>0</sub>	29	432779,639 <sup>ns</sup>	0,134 <sup>**</sup>	0,720 <sup>**</sup>
LC <sub>I</sub>	29	749980,839 <sup>**</sup>	0,169 <sup>**</sup>	0,745 <sup>**</sup>
LC <sub>II</sub>	29	610807,845 <sup>**</sup>	0,297 <sup>**</sup>	0,750 <sup>**</sup>
Entre Ciclos	2	5779016,864 <sup>**</sup>	1,877 <sup>**</sup>	2,799 <sup>**</sup>
Testemunha (Test.)	4	886357,426 <sup>*</sup>	0,914 <sup>**</sup>	3,902 <sup>**</sup>
L vs Test.	1	5949042,564 <sup>**</sup>	0,208 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>
Tratamentos (T) x Ambientes (A)	188	313372,853 <sup>ns</sup>	0,070 <sup>ns</sup>	7,949 <sup>**</sup>
Linhagens (L) x A	178	319701,713 <sup>ns</sup>	0,063 <sup>ns</sup>	0,695 <sup>**</sup>
C <sub>0</sub> x A	58	257576,602 <sup>ns</sup>	0,067 <sup>ns</sup>	0,547 <sup>**</sup>
C <sub>I</sub> x A	58	370106,195 <sup>ns</sup>	0,044 <sup>ns</sup>	0,837 <sup>**</sup>
C <sub>II</sub> x A	58	330627,679 <sup>ns</sup>	0,082 <sup>*</sup>	0,466 <sup>**</sup>
Entre Ciclos x A	4	331224,24 <sup>ns</sup>	2,037 <sup>**</sup>	2,000 <sup>**</sup>
Testemunhas (Test) x A	8	246729,094 <sup>ns</sup>	0,178 <sup>**</sup>	0,936 <sup>**</sup>
(L vs. Test) x A	2	16679,327 <sup>ns</sup>	0,207 <sup>*</sup>	4,490 <sup>**</sup>
Erro	568	301485,773	0,059	0,159
Média Geral		3476	3,8	2,2
Médias Linhagens		3496	3,7	2,21
Média C <sub>0</sub>		3449	3,8	2,3
Média C <sub>I</sub>		3379	3,8	2,2
Média C <sub>II</sub>		3660	3,7	2,1
Média T		3122	3,7	2,2
CV (%)		15,8	6,5	18,0

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

As notas de arquitetura foram altas e as de aspecto de grãos baixas, o que indica que as linhagens, de modo geral, apresentam grãos com bom aspecto comercial, mas deixam a desejar quanto ao porte (Tabela 7).

**Tabela 7** – Médias de produtividade de grãos (PROD), em kg ha<sup>-1</sup>, arquitetura de plantas (ARQ), aspecto de grãos (AG) e limites inferiores (LI) e superiores (LS) referentes às linhagens dos ciclos C<sub>0</sub>, C<sub>I</sub> e C<sub>II</sub>, avaliados nas safras da seca de 2012 e 2015 e inverno de 2014, Coimbra, MG

Linhagens	PROD		ARQ		AG	
	Média	Amplitude	Média	Amplitude	Média	Amplitude
Linhagens total	3496	2893-4344	3,7	3,06-4,11	2,21	1,50-2,83
Linhagens C <sub>0</sub>	3449	3029-3786	3,8	3,57-4,05	2,3	1,83-2,83
Linhagens C <sub>I</sub>	3379	2893-3914	3,8	3,64-4,11	2,2	1,72-2,61
Linhagens C <sub>II</sub>	3660	3255-4344	3,7	3,06-4,03	2,1	1,50-2,44

Considerando o comportamento das linhagens em função do ciclo verificou-se que as linhagens do ciclo C<sub>II</sub> destacaram-se das demais (Tabela 8). Considerando as 20 linhagens mais produtivas, 11 são do ciclo C<sub>II</sub>, enquanto apenas quatro e cinco são, respectivamente, dos ciclos C<sub>0</sub> e C<sub>I</sub>. O mesmo fato foi constatado para arquitetura de plantas e aspecto de grãos, com maior número de linhagens do ciclo C<sub>II</sub>. Considerando somente as cinco linhagens de melhor desempenho, independentemente da característica, todas são do ciclo C<sub>II</sub>, o que já era previsto, uma vez que com os ciclos de seleção e recombinação espera-se acumular alelos favoráveis para os caracteres sob seleção.

**Tabela 8** – Número de linhagens por ciclo considerando as 20, dez e cinco linhagens superiores quanto à produtividade de grãos (PROD), em kg ha<sup>-1</sup>, arquitetura de plantas (ARQ) e aspecto de grãos (AG) das linhagens superiores

Nº de Linhagens Classificadas por Ciclo	20 +			10 +			5 +		
	C <sub>0</sub>	C <sub>I</sub>	C <sub>II</sub>	C <sub>0</sub>	C <sub>I</sub>	C <sub>II</sub>	C <sub>0</sub>	C <sub>I</sub>	C <sub>II</sub>
<b>PROD</b>	4	5	11	0	2	8	0	0	5
<b>ARQ</b>	4	4	12	2	0	8	0	0	5
<b>AG</b>	5	4	11	2	1	7	0	0	5

#### 4.2 Estimativas de progresso genético de dois ciclos de seleção recorrente

As médias de produtividade de grãos, arquitetura de planta e aspecto de grãos das linhagens por ciclo e o progresso genético obtido em cada um dos ambientes estão

apresentados nas Tabelas 9, 10 e 11. Em uma análise mais geral, considerando os diferentes ambientes e os três caracteres avaliados, constatou-se um progresso genético efetivo do ciclo C<sub>I</sub> para o ciclo C<sub>II</sub>.

**Tabela 9** – Médias de produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) e arquitetura de planta (ARQ) e aspecto de grãos (AG) das 30 linhagens superiores de cada ciclo e progresso genético com base nessas médias. Safra da seca de 2015. Coimbra, MG

Ciclo	Médias		
	PROD	ARQ	AG
C <sub>0</sub>	3392	4,00	2,59
C <sub>I</sub>	3413	3,98	2,23
C <sub>II</sub>	3716	3,86	2,14
Progresso genético (%)			
C <sub>0</sub> para C <sub>I</sub>	0,61	-0,5	-13,90
C <sub>I</sub> para C <sub>II</sub>	8,87	-3,01	-4,04
C <sub>0</sub> para C <sub>II</sub>	9,55	-3,5	-17,37

**Tabela 10** – Médias de produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>), arquitetura de planta (ARQ) e aspecto de grãos (AG) das 30 linhagens superiores de cada ciclo e progresso genético com base nessas médias. Safra de inverno de 2014. Coimbra, MG

Ciclo	Médias		
	PROD	ARQ	AG
C <sub>0</sub>	3445	3,76	2,01
C <sub>I</sub>	3345	3,78	2,01
C <sub>II</sub>	3659	3,66	1,97
Progresso genético (%)			
C <sub>0</sub> para C <sub>I</sub>	-2,90	0,53	0
C <sub>I</sub> para C <sub>II</sub>	9,39	-3,17	-1,99
C <sub>0</sub> para C <sub>II</sub>	6,21	-2,66	-1,99

**Tabela 11** – Médias de produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>), arquitetura de planta (ARQ) e aspecto de grãos (AG), das 30 linhagens superiores de cada ciclo e progresso genético com base nessas médias. Safra da seca de 2012. Coimbra, MG

Ciclo	Médias		
	PROD	ARQ	AG
C <sub>0</sub>	3510	3,67	2,34
C <sub>I</sub>	3379	3,67	2,29
C <sub>II</sub>	3604	3,53	2,13
Progresso genético (%)			
C <sub>0</sub> para C <sub>I</sub>	-3,73	0	-2,14
C <sub>I</sub> para C <sub>II</sub>	6,66	-3,81	-6,99
C <sub>0</sub> para C <sub>II</sub>	2,68	-3,81	-8,97

Para produtividade de grãos, esse progresso variou de 6,66 a 9,39%. Resultados semelhantes aos já relatados também foram observados quando os experimentos foram tratados de forma conjunta (Tabela 12).

**Tabela 12** – Médias de produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>), arquitetura de planta (ARQ) e aspecto de grãos (AG) das 30 linhagens superiores de cada ciclo e progresso genético com base nas médias da análise conjunta

Ciclo	Médias		
	PROD	ARQ	AG
C <sub>0</sub>	3449	3,81	2,32
C <sub>I</sub>	3379	3,81	2,24
C <sub>II</sub>	3660	3,68	2,08
Progresso genético (%)			
C <sub>0</sub> para C <sub>I</sub>	-2,03	0	-3,45
C <sub>I</sub> para C <sub>II</sub>	8,32	-3,41	-7,14
C <sub>0</sub> para C <sub>II</sub>	6,12	-3,41	-10,34

Houve ganho em produtividade de 8,32% do ciclo C<sub>I</sub> para o ciclo C<sub>II</sub>. Do C<sub>0</sub> para o C<sub>I</sub> não houve progresso genético, com ganho estimado negativo (-2,03%). Para arquitetura de plantas, o resultado foi semelhante, com ganho apenas do C<sub>I</sub> para C<sub>II</sub> (3,41%). Já para aspecto de grãos foram constatados ganhos expressivos, desde o início; 3,45 do C<sub>0</sub> para o C<sub>I</sub> e 7,14% do C<sub>I</sub> para o C<sub>II</sub>. No contexto geral, houve ganho por ciclo de 3,06% para produtividade de grãos, 1,71% para arquitetura ereta de plantas e 5,03% para aspecto de grãos.

Resultados semelhantes foram obtidos por Menezes Júnior (2011), que avaliou o progresso genético de um ciclo seletivo e obteve ganho de 7,5% para produtividade de grãos e 7% para aspecto de grãos, para as mesmas populações avaliadas neste estudo. Já os ganhos em produtividade obtidos por Freitas (2012) para essas mesmas populações foram ligeiramente mais expressivos, entretanto as avaliações foram feitas com base em apenas um ambiente.

Na literatura são encontradas estimativas de progresso genético para produtividade de grãos variando de 3,3 a 55% (RANALLI; RUARO; DEL RE *et al.*, 1996; SINGH; TERÁN; MUÑOZ *et al.*, 1999; RAMALHO; ABREU; SANTOS, 2005; MENEZES JÚNIOR; RAMALHO; ABREU, 2008; SILVA; RAMALHO; ABREU *et al.*, 2010; MENEZES JÚNIOR, 2011; ALVES, 2012; FREITAS, 2012). Comparações entre estimativas de progresso genético são dificultadas devido às diferenças nas metodologias empregadas para se estimar o progresso genético.

Alves (2012), trabalhando com seleção recorrente no melhoramento de feijão carioca, estimou o progresso genético de um ciclo de seleção utilizando duas metodologias: a primeira com base na avaliação das famílias em cada ciclo, com testemunhas comuns; neste caso, o progresso genético por ciclo foi de 23,7, 14,2 e 16,6%, estimados a partir da avaliação de famílias  $F_{2:3}$ ,  $F_{2:4}$  e  $F_{2:5}$ , respectivamente. Na segunda metodologia, o progresso genético foi estimado a partir da avaliação simultânea das melhores famílias de cada ciclo, e foi detectado um ganho de 8,6% para produtividade de grãos.

Por meio da avaliação das cinco melhores linhagens de cada ciclo nas safras de inverno e águas, Ramalho, Abreu e Santos (2005) estimaram o progresso genético de quatro ciclos de seleção recorrente no melhoramento do feijoeiro, obtendo ganhos para produtividade de grãos de 5,7 e 10% por ciclo nas safras de inverno e águas, respectivamente.

As estimativas de ganho genético obtidas neste trabalho e os relatados na literatura comprovam a eficiência da seleção recorrente como estratégia para o melhoramento do feijoeiro, pois de acordo com Matos, Ramalho e Abreu (2007) o ganho anual para produtividade de grãos no feijoeiro, com base nas técnicas clássicas de melhoramento, é de 1,6%.

### **4.3 Avaliação de famílias do ciclo $C_{III}$**

Uma etapa importante de um programa de seleção recorrente é a avaliação de famílias em cada ciclo de seleção, de modo a identificar as melhores famílias para recombinação e também para extração de linhagens. Nesse contexto, foram avaliadas 380 famílias  $F_{2:3}$  do ciclo  $C_{III}$ , juntamente com 20 testemunhas. Com média de produtividade acima de  $3000 \text{ kg ha}^{-1}$ , destacando-se assim o excelente desempenho dos genótipos avaliados. Foram detectadas diferenças significativas entre famílias para quase todos os caracteres avaliados, à exceção de arquitetura de plantas (Tabela 13), indicando pouca variabilidade genética na população quanto a esse caráter. A existência de variabilidade genética é fundamental para que se continue obtendo ganhos com a seleção.

**Tabela 13** – Resumo das análises de variância individuais da produtividade de grãos (PROD), em kg ha<sup>-1</sup>, severidade de mancha-angular (MA), arquitetura de planta (ARQ) e notas de aspecto de grãos (AG), referentes às famílias F<sub>2:3</sub> avaliadas na safra da seca de 2015. Coimbra, MG

Fonte de Variação	GL	QM			
		POD	MA	ARQ	AG
Tratamento (T)	399	674160,351 <sup>*</sup>	0,615 <sup>**</sup>	0,111 <sup>ns</sup>	0,612 <sup>**</sup>
Famílias (Fam.)	379	689813,570 <sup>**</sup>	0,625 <sup>**</sup>	0,106 <sup>ns</sup>	0,612 <sup>**</sup>
Pop. 1	18	598529,891 <sup>ns</sup>	0,536 <sup>ns</sup>	0,094 <sup>ns</sup>	0,190 <sup>**</sup>
Pop .2	18	507536,734 <sup>ns</sup>	0,872 <sup>**</sup>	0,092 <sup>ns</sup>	0,360 <sup>**</sup>
Pop.3	18	524034,512 <sup>ns</sup>	0,587 <sup>ns</sup>	0,107 <sup>ns</sup>	0,513 <sup>ns</sup>
Pop.4	18	859360,366 <sup>ns</sup>	0,602 <sup>ns</sup>	0,149 <sup>ns</sup>	0,264 <sup>ns</sup>
Pop.5	18	1217789,214 <sup>**</sup>	0,828 <sup>**</sup>	0,085 <sup>ns</sup>	0,614 <sup>**</sup>
Pop.6	18	542039,923 <sup>ns</sup>	0,617 <sup>ns</sup>	0,080 <sup>ns</sup>	0,393 <sup>**</sup>
Pop.7	18	872490,125 <sup>ns</sup>	0,765 <sup>**</sup>	0,059 <sup>ns</sup>	0,348 <sup>**</sup>
Pop.8	18	422117,277 <sup>ns</sup>	0,248 <sup>ns</sup>	0,069 <sup>ns</sup>	0,204 <sup>ns</sup>
Pop.9	18	624379,928 <sup>ns</sup>	0,467 <sup>ns</sup>	0,189 <sup>**</sup>	0,460 <sup>**</sup>
Pop. 10	18	869669,052 <sup>ns</sup>	0,373 <sup>ns</sup>	0,140 <sup>ns</sup>	0,194 <sup>ns</sup>
Pop. 11	18	925793,504 <sup>*</sup>	0,433 <sup>ns</sup>	0,058 <sup>ns</sup>	0,321 <sup>**</sup>
Pop .12	18	692778,886 <sup>ns</sup>	0,299 <sup>ns</sup>	0,111 <sup>ns</sup>	0,273 <sup>ns</sup>
Pop.13	18	432227,538 <sup>ns</sup>	0,689 <sup>*</sup>	0,082 <sup>ns</sup>	0,357 <sup>**</sup>
Pop.14	18	356971,543 <sup>ns</sup>	0,535 <sup>ns</sup>	0,049 <sup>ns</sup>	0,365 <sup>**</sup>
Pop.15	18	625900,368 <sup>ns</sup>	0,310 <sup>ns</sup>	0,109 <sup>ns</sup>	0,326 <sup>**</sup>
Pop.16	18	513194,382 <sup>ns</sup>	0,556 <sup>ns</sup>	0,051 <sup>ns</sup>	0,423 <sup>**</sup>
Pop.17	18	774932,422 <sup>ns</sup>	0,848 <sup>**</sup>	0,214 <sup>**</sup>	0,347 <sup>**</sup>
Pop.18	18	805946,565 <sup>ns</sup>	1,028 <sup>**</sup>	0,082 <sup>ns</sup>	0,674 <sup>**</sup>
Pop.19	18	655156,623 <sup>ns</sup>	0,329 <sup>ns</sup>	0,078 <sup>ns</sup>	0,227 <sup>ns</sup>
Pop. 20	18	358012,936 <sup>ns</sup>	0,288 <sup>ns</sup>	0,098 <sup>ns</sup>	0,289 <sup>ns</sup>
Entre Pop.	19	1274728,101 <sup>**</sup>	0,096 <sup>ns</sup>	0,011 <sup>ns</sup>	0,286 <sup>ns</sup>
Testemunha (Te)	19	383806,482 <sup>ns</sup>	0,313 <sup>ns</sup>	0,213 <sup>**</sup>	0,596 <sup>**</sup>
Fam vs Te	1	57230,019 <sup>ns</sup>	2,644 <sup>**</sup>	0,053 <sup>ns</sup>	0,660 <sup>ns</sup>
Erro Efetivo	361	541294,206	0,401	0,105	0,187
Média Geral		3256	6,38	4,21	2,41
Média das famílias		3254	6,39	4,21	2,42
Médias das testemunhas		3293	6,13	4,17	2,54
CV%		23	10	7	18

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

Na seleção das melhores famílias para recombinação, foi utilizado o índice da distância genótipo-ideótipo (CRUZ, 2013), que levou em conta todos os caracteres avaliados (produtividade, severidade de mancha-angular, arquitetura de planta e aspecto de grãos). Maiores pesos foram atribuídos à produtividade e ao aspecto de grãos, por considerar esses caracteres de maior relevância. É importante ressaltar que, além da

produtividade, o aspecto de grãos é uma característica limitante para a recomendação de um novo cultivar de feijão. As médias de produtividade de grãos, severidade de mancha-angular, arquitetura de plantas e aspecto de grãos das 20 famílias selecionadas para recombinação com base no índice genótipo-ideótipo, ou seja, a melhor família de cada população, são apresentadas na Tabela 14.

**Tabela 14** – Médias de produtividade de grãos (PROD), em kg ha<sup>-1</sup>, severidade de mancha-angular (MA), arquitetura de planta (ARQ) e aspecto de grãos (AG), das 20 famílias F<sub>2:3</sub> do C<sub>III</sub> selecionadas para recombinação. Safra da seca de 2015. Coimbra, MG

População/Testemunha	Famílias Selecionadas	PROD	MA	ARQ	AG
1) 13×1	29	3544 a b	6,0 a b	4,00 a b	2,00 a b
2) 18×6	18	3472 a b	5,0 b	4,00 a b	2,75 a b
3) 14×2	28	3819 a b	6,5 a b	4,25 a b	2,50 a b
4) 12×20	25	3917 a b	5,5 a b	3,75 a b	2,50 a b
5) 9×17	13	3373 a b	6,5 a b	3,75 a b	2,50 a b
6) 16×4	39	4086 a b	6,0 a b	4,25 a b	2,50 a b
7) 2×10	35	4499 a	6,5 a b	4,25 a b	1,75 a b
8) 11×19	32	3596 a b	7,0 a b	4,25 a b	1,25 a b
9) 5×13	4	3699 a b	7,0 a b	4,50 a b	2,50 a b
10) 8×16	19	3646 a b	6,0 a b	4,00 a b	2,25 a b
11) 7×15	38	3851 a b	6,5 a b	4,50 a b	1,50 a b
12) 20×8	30	3662 a b	6,5 a b	3,75 a b	1,50 a b
13) 15×3	33	3813 a b	5,0 b	4,25 a b	1,50 a b
14) 10×18	18	3646 a b	6,0 a b	4,00 a b	2,25 a b
15) 3×11	29	3403 a b	6,5 a b	4,25 a b	2,00 a b
16) 19×7	9	3472 a b	5,5 a b	4,50 a b	2,75 a b
17) 1×9	33	3514 a b	5,5 a b	4,50 a b	1,50 a b
18) 6×14	39	4214 a b	6,5 a b	4,00 a b	2,00 a b
19) 17×15	29	4021 a b	6,5 a b	4,00 a b	1,75 a b
20) 4×12	26	3540 a b	7,0 a b	3,75 a b	3,00 a b
Ouro Vermelho		3980 a	7,0 a	4,50 a	1,75 a
Vermelhinho		2594 b	6,0 b	4,25 b	3,00 b

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente das respectivas testemunhas Ouro Vermelho (a) e Vermelhinho (b), pelo teste de Dunnett, a 5% de probabilidade.

Das 380 famílias avaliadas, independentemente de qual população pertenciam, foram também selecionadas as 30 famílias superiores para extração de linhagens (Tabela 15). As 30 famílias selecionadas representaram 15 dos 20 cruzamentos que compuseram a população do ciclo C<sub>III</sub>. Nesse contexto, o cruzamento 10×18 foi

responsável por cinco das 30 famílias selecionadas. Essa seleção também foi baseada no índice da distância genótipo-ideótipo.

**Tabela 15** – Médias de produtividade de grãos (PROD), em kg ha<sup>-1</sup>, severidade de mancha-angular (MA), arquitetura de planta (ARQ) e aspecto de grãos (AG) das 30 famílias superiores do C<sub>III</sub>, classificadas segundo o índice genótipo-ideótipo. Safra da seca de 2015, Coimbra, MG

População/Testemunha	Famílias Selecionadas	PROD	MA	ARQ	AG
11) 7×15	44	4384 ab	6,5 ab	4,25 ab	2,50 ab
7) 2×10	35	4499 ab	6,5 ab	4,25 ab	1,75 ab
13) 15×3	23	4222 ab	6,5 ab	4,25 ab	2,50 ab
18) 6×14	26	4303 ab	6,5 ab	4,25 ab	2,75 ab
10) 8×16	24	3980 ab	6,5 ab	4,25 ab	1,50 ab
9) 5×13	35	4089 ab	6,5 ab	4,50 ab	2,50 ab
14) 10×18	28	4040 ab	6,5 ab	4,25 ab	1,75 ab
10) 8×16	27	4088 ab	6,5 ab	4,50 ab	1,75 ab
15) 3×11	13	3847 ab	6,5 ab	4,25 ab	2,50 ab
13) 15×3	33	3813 ab	5,0 b	4,25 ab	1,50 ab
16) 19×7	6	4032 ab	5,0 b	4,25 ab	2,75 ab
3) 14×2	28	3819 ab	6,5 ab	4,25 ab	2,50 ab
14) 10×18	25	4037 ab	7,0 ab	4,25 ab	1,50 ab
11) 7×15	38	3851 ab	6,5 ab	4,50 ab	1,50 ab
11) 7×15	37	3864 ab	6,5 ab	4,25 ab	1,75 ab
2) 18×6	34	4279 ab	7,0 ab	4,25 ab	2,75 ab
2) 18×6	5	4040 ab	5,5 ab	4,25 ab	2,75 ab
14) 10×18	37	3975 ab	7,0 ab	4,25 ab	1,75 ab
9) 5×13	8	3608 ab	6,5 ab	4,25 ab	2,50 ab
12) 20×8	12	3881 ab	6,5 ab	3,75 ab	1,75 ab
9) 5×13	25	3611 ab	6,5 ab	4,50 ab	2,50 ab
19) 17×15	23	3528 ab	6,5 ab	4,25 ab	2,50 ab
4) 12×20	25	3917 ab	5,5 ab	3,75 ab	2,50 ab
12) 20×8	3	3955 ab	6,5 ab	3,75 ab	2,75 ab
7) 2×10	16	3690 ab	7,0 ab	4,25 ab	2,50 ab
4) 12×20	30	4031 ab	5,5 ab	4,25 ab	2,00 ab
10) 8×16	14	3758 ab	7,0 ab	4,50 ab	2,50 ab
6) 16×4	7	4236 ab	6,5 ab	4,00 ab	1,75 ab
14) 10×18	26	3828 ab	6,5 ab	4,25 ab	2,00 ab
14) 10×18	39	4086 ab	6,0 ab	4,25 ab	2,50 ab
Ouro Vermelho		3980 a	7,0 a	4,50 a	1,75 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente da testemunhas OuroVermelho (a) pelo teste de Dunnett, a 5% de probabilidade.

As famílias selecionadas tiveram produtividade superior a 3500 kg ha<sup>-1</sup>, apresentando, portanto, alto potencial de produção. O mesmo foi observado quanto ao aspecto de grãos, cujas notas situaram-se abaixo de 2,75 numa escala de 1 a 5. Vale salientar que para aspecto de grãos, assim como para arquitetura de planta e severidade

de mancha-angular, menores notas indicam melhor desempenho. Quando o desempenho das famílias em relação à resistência à mancha-angular e à arquitetura ereta de planta é analisado, constata-se que as famílias selecionadas deixaram a desejar quanto a esses atributos, pois as notas de severidade de mancha-angular e arquitetura de planta foram elevadas (Tabela 15). Contudo, ressalta-se que as informações a respeito das famílias referem-se a médias, o que permite selecionar, dentro das famílias, plantas com notas abaixo.

Essas famílias apresentaram comportamento semelhante ao do cultivar comercial Ouro Vermelho quanto à produtividade de grãos, aspecto de grãos, severidade à mancha-angular e arquitetura de plantas (Tabela 15). O cultivar Ouro Vermelho, a mais plantada na região da Zona da Mata mineira, é referência quanto à produtividade e ao aspecto de grãos, evidenciando assim o potencial dessas famílias para extração de linhagens.

## 5 CONCLUSÕES

O progresso genético estimado após dois ciclos de seleção recorrente foi de 6,12% para produtividade de grãos, 3,41% para arquitetura de plantas e 10,34% para aspecto de grãos, evidenciando a eficiência da seleção recorrente como estratégia no melhoramento do feijão-vermelho.

Trinta famílias  $F_{2:3}$  oriundas do último ciclo (ciclo  $C_{III}$ ) apresentaram potencial para extração de linhagens superiores, uma vez que, em média, se equipararam à cultivar comercial Ouro Vermelho quanto à produtividade de grãos e ao aspecto de grãos.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, A. F. **Dois ciclos de seleção recorrente no melhoramento de feijão carioca**. 2012. 61 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.
- AMARO G. B.; ABREU A. F. B.; RAMALHO M. A. P.; SILVA F. B. Phenotypic recurrent selection in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) with carioca-type grains for resistance to the fungi *Phaeoisariopsis griseola*. **Genetics and Molecular Biology**, v. 30, p. 584-588, 2007.
- ARAÚJO, G. A. A.; FERREIRA, A. C. B. Manejo do Solo e Plantio. In: VIEIRA, C.; PAULA JR., T. J.; BORÉM, A. **Feijão**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2006. p. 87-114.
- ARAÚJO, G. A. A.; CAMELO, G. N. Preparo do Solo e Plantio. In: CARNEIRO, J. E.S.; PAULA JR., T. J.; BORÉM, A. (Org.). **Feijão: do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2015. p. 115-144.
- BALDONI, A. B.; TEIXEIRA, F. F.; SANTOS, J. B. Controle genético de alguns caracteres relacionados à cor da semente de feijão no cruzamento Rosinha x Esal 693. **Acta Scientiarum**, v. 24, p. 1427-1431, 2002.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 6. ed. Viçosa: UFV, 2013. p. 317-341.
- BORÉM, A.; CARNEIRO, J. E. A Cultura. In: CARNEIRO, J. E.; PAULA JR., T. J.; BORÉM, A. (Coord.). **Feijão do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2015. p. 9-15.
- CARNEIRO, J. E. S.; SILVA, L. C.; PAULA JR., 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**, East Lansing, v. 49, p. 281-282, 2006.
- CARNEIRO, F. F. **Estratégias visando a seleção de linhagens de feijão resistente ao mofo branco**. 2013. 148 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.
- CARVALHO, C. G. P.; CRUZ, C.D.; VIANA, J. M. S.; SILVA, D. Selection based on distances from ideotype. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 2, n. 2, p. 171-178, 2002.
- COLLICCHIO, E.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B. Associação entre o porte da planta do feijoeiro e o tamanho dos grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 3, p. 297-304, 1997.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Avaliação da safra agrícola 2014/2015 – Décimo segundo levantamento setembro 2015. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15\\_09\\_11\\_10\\_42\\_03\\_boletim\\_graos\\_setembro\\_2015.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_09_11_10_42_03_boletim_graos_setembro_2015.pdf)>. Acesso em: 10 dez. 2015.

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

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA-CNPAF). **Cultivo do feijoeiro comum**. Sistema de produção. 2. ISSN 1679-8869 Versão eletrônica. Jan. 2003. Disponível em: <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/CultivodoFeijoeiro/index.htm>>. Acesso em: 8 dez. 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA-CNPAF). **A cultura do feijoeiro**. 2007. Disponível em: <<http://www.cnpat.embrapa.gov.br/pesquisa/feijao.html>>. Acesso em: 8 dez. 2015.

FERREIRA, C. M.; DEL PELOSO, M. J.; FARIA, L. C. **Feijão na economia nacional**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa-CNPAF, 2002. 47 p. (Documentos, 135).

FREITAS, R. M. **Progresso genético de três ciclos de seleção recorrente no melhoramento de feijão vermelho**. 2012. 41 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

GERALDI, I. O. Por que realizar seleção recorrente. In: SIMPÓSIO DE ATUALIZAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS, 9., 2005. Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Genética e Melhoramento de Plantas, 2005. p. 1-8.

GIL, S. P.; MANERA, G.; DUBLIS, M. E.; MAICH, R. H. Spike changes associated to six cycles of recurrent selection in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). **Agriscientia**, Córdoba, v. 10, p. 95-98, 2003.

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

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

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

LEITE, M. E. **Seleção Recorrente em feijoeiro visando resistência à *Sclerotinia sclerotiorum* e respostas bioquímicas associadas à defesa contra o patógeno**. 2014. 153 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2014.

MAICH, R. H.; GAIDO, Z. A.; MANERA, G. A.; DUBOIS, M. E. Two cycles of recurrent selection for grain yield in bread wheat. Direct effect and correlated responses. **Agriscientia**, Córdoba, v. 17, p. 35-39, 2000.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Brasília. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 10 out. 2015.

- MARQUES JÚNIOR, O. G.; RAMALHO, M. A. P. Eficiência de experimentos com a cultura do feijão. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 21, 1997. (Suplemento).
- MATOS, J. W.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Trinta e dois anos do programa de melhoramento genético do feijoeiro comum em Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1749-1754, 2007.
- MENDES, F. F.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Índice de seleção para escolha de populações segregantes de feijoeiro-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 44, n. 10, p. 1312-1318, out. 2009.
- MENEZES JÚNIOR, J. A. N.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Seleção recorrente para três caracteres do feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 4, p. 833-838, 2008.
- MENEZES JÚNIOR, J. A. N. **Seleção recorrente no melhoramento de feijão vermelho**. 2011. 70 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.
- MENEZES JÚNIOR, J. A. N.; REZENDE JÚNIOR, L. S.; ROCHA, G. S.; SILVA, V. M. P.; PEREIRA, A. C.; CARNEIRO, P. C. S.; PETERNELLI, L. A.; CARNAIRO, J. E. S. Two cycles of recurrent selection in red bean breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 13, p. 41-48, 2013.
- MESQUITA, F. R.; CORRÊA, A. D.; ABREU, C. M. P.; LIMA, R. A. Z.; ABREU, A. F. B. Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): composição química e digestibilidade protéica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1114-1121, 2007.
- MOURA, M. M.; CARNEIRO, P. C. S.; CARNEIRO, J. E. S.; CRUZ, C. D. Potencial de caracteres na avaliação da arquitetura de plantas de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 4, p. 417-425, 2013.
- PAULA JR., T. J.; VIEIRA, R. F.; TEIXEIRA, H.; LOBO JUNIOR, M.; WENDLAND, A. Doenças do feijoeiro: Estratégia Integrada de Manejo. In: CARNEIRO, J. E.; PAULA JR., T. J.; BORÉM, A. **Feijão do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2015. p. 270-299.
- PIRES, L. P. M.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; FERREIRA, M. C. Recurrent mass selection for upright plant architecture in common bean. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 71, n. 3, p. 240-243, 2014.
- RAMALHO, M. A. P.; PIROLA, L. H.; ABREU, A. F. B. Alternativas na seleção de plantas de feijoeiro com porte ereto e grão tipo carioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 12, p. 1989-1994, 1998.
- RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. 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**, Wageningen, v. 144, n. 1/2, p. 23-29, 2005.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; GUILHERME, S. R. Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira: 2015-2017. In: REUNIÃO DA COMISSÃO TÉCNICA CENTRAL BRASILEIRA DE FEIJÃO, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2014.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Obtenção de Cultivares. In: CARNEIRO, J. E.; PAULA JR., T. J.; BORÉM, A. **Feijão do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2015. p. 96-114.

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

RANGEL, P. H. N.; MORAIS, O. P.; ZIMMERMANN, F. J. P. Grain yield in three recurrent selection cycles in the CAN-IRAT 4 irrigated rice population. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 2, p. 369-374, 2002.

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

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

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

SILVA, C. A. **Associação entre arquitetura de planta e produtividade do feijoeiro do mesmo “pool” gênico**. 2009. 59 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

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, G. S.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; NUNES, J. A. R. Estimation of genetic progress after eight cycles of recurrent selection for common bean yield. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 10, n. 4, p. 181-351-356, 2010.

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

SOUZA, D. A. **Efeito da seleção recorrente para resistência à mancha angular na reação ao mofo-branco e em alelos SSR de progênies de feijão**. 2012. 97 f. Tese

(Mestrado em Genética e Melhoramento de plantas) – Universidade Federal e Lavras, Lavras, 2012.

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**. São Paulo, v. 22, n. 4, p. 577-582, 1999.

TERÁN, H.; SINGH, S. P. Recurrent selection for physiological resistance to white mold in dry bean. **Plant Breed.**, v. 129, p. 327-333, 2010.

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

WANDER, A. E. Produção e consumo de feijão no Brasil, 1975-2005. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 37, n. 2, p. 7-21, 2007.