TATIANE FREITAS HORTA TRINDADE

POTENCIAL DE LINHAGENS E POPULAÇÕES DE FEIJÃO PRETO ORIUNDAS DO PROGRAMA DE SELEÇÃO RECORRENTE DA UFV

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

Orientador: José Eustáquio de Souza Carneiro

Coorientador: Pedro Crescêncio Souza Carneiro

VIÇOSA - MINAS GERAIS
2020

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade Federal de Viçosa - Campus Viçosa

T
T833p
2020

Trindade, Tatiane Freitas Horta, 1993-
Potencial de linhagens e populações de feijão preto oriundas do Programa de Seleção Recorrente da UFV / Tatiane Freitas Horta Trindade. – Viçosa, MG, 2020.
69 f. : il. ; 29 cm.

Inclui apêndice.
Orientador: José Eustáquio de Souza Carneiro.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f.54-61.

1. Feijão-comum. 2. Melhoramento genético. 3. *Phaseolus vulgaris*. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento. II. Título.

CDD 22. ed. 635.6522

TATIANE FREITAS HORTA TRINDADE

POTENCIAL DE LINHAGENS E POPULAÇÕES DE FEIJÃO PRETO ORIUNDAS DO PROGRAMA DE SELEÇÃO RECORRENTE DA UFV

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

APROVADA: 02 de junho de 2020.

Assentimento:

Tatiane Freitas Horta Trindade

Tatiane Freitas Horta Trindade

Autora

José Eustáquio de Souza Carneiro

Orientador

Ao meu pai Rodney.

A minha mãe Luciana.

Aos meus irmãos Jessica, Rodney Jr e Roger.

A minha sobrinha Liz.

A minha avó Maria (*in memoriam*).

A todos os meus amigos.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, acima de tudo, agradeço a Deus, por me acompanhar em todos os momentos.

Aos meus pais, Rodney e Luciana, pelo amor, carinho, exemplo, suporte e por sempre apoiarem minhas escolhas.

Aos meus irmãos Jessica, Rodney Jr e Roger, pelo apoio e carinho em todos os momentos.

À minha sobrinha Liz, por alegrar os meus dias.

À Marcio, por todo amor, compreensão e companheirismo nos momentos difíceis.

A todos os professores que contribuíram para a minha formação profissional.

À Universidade Federal de Viçosa, ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento (PPGGM) e ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) pela oportunidade.

Ao professor José Eustáquio de Souza Carneiro, pela orientação, por todos os ensinamentos transmitidos e apoio ao longo desta caminhada.

Ao professor Pedro Crescêncio Souza Carneiro, pela coorientação, pelos conhecimentos transmitidos e disponibilidade nas orientações.

Aos funcionários do Feijão, do Vale da Agronomia e da Unidade Experimental de Coimbra, Pereira, Gilberto, Fonseca, Nilson, Potoca, Sebastião, Carlinhos, Beto e Douglas, por todo auxílio na realização dos experimentos.

Aos colegas do Programa Feijão: Ana Laura, Deyson, Fabíola, Felipe, Gabriela, Igor, Igor G., João Victor, José Dique, Junior, Jussara, Laiza, Lênin, Maria Beatriz, Michel, Rafael, Skarlet, Tiago, Vanucci, Vinícius L., Vinícius Q., por toda ajuda na condução dos experimentos, pela amizade, convivência, além de todo apoio fornecido.

Às minhas amigas de longa data Aglaia, Camila, Carla, Carolina, Gabriela, Indira e Marcelly pelo companheirismo e amizade de sempre.

Às minhas amigas Andréia e Paola, pelos momentos de descontração, conversas e companheirismo.

Ao meu grande amigo Bruno, pelo carinho, conselhos e que mesmo à distância, sempre esteve perto e disponível para nossas conversas.

A todos amigos e familiares que de alguma forma me ajudaram.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

BIOGRAFIA

TATIANE FREITAS HORTA TRINDADE, filha de Rodney Maury Horta Trindade e Luciana Caldeira de Freitas, nasceu em Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil, em 20 de julho de 1993.

Concluiu o Ensino Fundamental, em 2008 e o Ensino Médio em 2011 no Instituto Guimarães Rosa, em Sete Lagoas, Minas Gerais.

Em janeiro de 2018, obteve o título de Engenheira Agrônoma pela Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

Em março de 2018, iniciou o curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, na Universidade Federal de Viçosa e submeteu-se a defesa em março de 2020.

RESUMO

TRINDADE, Tatiane Freitas Horta, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2020. **Potencial de linhagens e populações de feijão preto oriundas do Programa de Seleção Recorrente da UFV.** Orientador: José Eustáquio de Souza Carneiro. Coorientador: Pedro Crescêncio Souza Carneiro.

Este trabalho teve como objetivos avaliar o potencial de linhagens do ciclo C_0 e de populações do ciclo C_1 do Programa de Seleção Recorrente da UFV visando o melhoramento de feijão preto. No ciclo C_0, foram avaliadas 395 linhagens derivadas das melhores famílias, em conjunto com as testemunhas Ouro Negro, BRS Esteio, IPR Tiziu, BRS Valente e VP22. O experimento foi conduzido na Estação Experimental do Departamento de Agronomia da UFV, em Coimbra, MG, na safra da seca de 2018. Foi utilizado o delineamento em látice quadrado 20 x 20, com duas repetições. As características avaliadas foram: produtividade de grãos, arquitetura de planta e aspecto comercial de grãos. Os dados foram submetidos às análises de variância individuais. Para a seleção de linhagens, foi utilizado o índice multiplicativo, possibilitando ganhos equilibrados para todas as características. No total, foram selecionadas 164 linhagens que reuniram atributos favoráveis em relação a produtividade de grãos, arquitetura de planta e aspecto comercial de grãos. As linhagens selecionadas, juntamente com as cinco testemunhas utilizadas anteriormente, foram avaliadas nas safras das águas de 2018 e seca de 2019. Foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso com três repetições. Para a seleção das melhores linhagens utilizou-se o índice da distância genótipo-ideótipo, identificando 33 linhagens promissoras para composição de Ensaios de VCU de feijão preto em Minas Gerais. O índice de seleção da distância genótipo-ideótipo mostrou-se eficiente com ganhos em sentido favorável para os três caracteres sob seleção. Na geração F_3 do ciclo um (C_1), 20 populações foram avaliadas na safra das águas de 2018, utilizando o delineamento de blocos ao acaso com três repetições. Foram avaliados a produtividade grãos e arquitetura de planta com base em uma das linhas centrais da parcela. Das 20 populações avaliadas, oito se destacaram, apresentando maior probabilidade de gerar linhagens superiores segundo a metodologia de Jinks e Pooni.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*; Melhoramento de feijão; Feijão-comum.

ABSTRACT

TRINDADE, Tatiane Freitas Horta, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2020. **Potential of inbred lines and segregant populations of black-type beans from the UFV Recurrent Selection Program**. Advisor: José Eustáquio de Souza Carneiro. Co-advisor: Pedro Crescêncio Souza Carneiro.

This study aimed to evaluate the potential of C_0 cycle inbred lines and C_1 cycle populations of the UFV Recurrent Selection Program aiming at the improvement of black-type beans. For the C_0 cycle, 395 strains derived from the best families were evaluated, together with the checks Ouro Negro, BRS Esteio, IPR Tiziu, BRS Valente, and VP22. The test was carried out at the Experimental Station belonging to UFV's Department of Agronomy, in Coimbra, Minas Gerais State, during the 2018 dry season. A 20 x 20 square lattice design was used, with two replications. Grain yield, plant architecture and commercial aspect of grains were evaluated. The data were submitted to an individual analysis of variance. For line selection, the multiplicative index was used allowing balanced gains for all traits. In total, 164 strains were selected which reunited favorable attributes in relation to grain yield, plant architecture and commercial aspect of grains. The selected strains, in combination with the five previously used checks, were evaluated during the 2018 rainy season and 2019 dry season. For that, a randomized block design with three replications was used. This time, the selection of the best strains was based on the genotype-ideotype distance index, identifying 33 promising strains as good genotypes on black bean VCU assays in Minas Gerais State. The genotype-ideotype distance selection index proved to be efficient with balanced gains for the three traits under selection. In F_3 generation (C_1), 20 populations were evaluated in the 2018 rainy season using a randomized block design with three replications. Grain yield and plant architecture were evaluated based on one of the plot's central lines. Out of the 20 populations evaluated eight stood out, presenting a higher probability of generating superior inbred lines according to Jinks and Pooni's methodology.

Keywords: *Phaseolus vulgaris*. Bean breeding. Common bean.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Origem, grupo comercial, porte e resistência a doenças dos 12 genitores utilizados nos cruzamentos do dialelo parcial 5 x 7..... 29
Tabela 2. Relação das 20 potenciais populações segregantes do ciclo zero (C_0) selecionadas por Moura (2013) e informações sobre porte e resistência a doenças de seus genitores..... 30
Tabela 3. Peso, valor ótimo, limites inferior e superior das médias no estabelecimento do índice genótipo-ideótipo para seleção das melhores linhagens..... 34
Tabela 4. Genealogia das populações F_3 pertencentes ao ciclo um (C_1) do Programa de Seleção Recorrente de feijão preto..... 36
Tabela 5. Resumo das análises de variância individuais da produtividade de grãos, em kg ha^{-1} (PROD), aspecto de grãos (AG) e arquitetura de planta (ARQ), referentes à avaliação de linhagens de feijão preto do ciclo 0 (C_0), na safra da seca de 2018. Coimbra, MG..... 39
Tabela 6. Estimativas dos ganhos preditos (GS) obtidos pela seleção de 155 linhagens pelo índice multiplicativo em relação à produtividade de grãos, em kg ha^{-1} (PROD), aspecto de grãos (AG) e arquitetura de planta (ARQ), na safra da seca de 2018. Coimbra, MG..... 41
Tabela 7. Resumo das análises de variância individuais da produtividade de grãos, em kg ha^{-1} (PROD), aspecto de grãos (AG) e arquitetura de planta (ARQ) referentes à avaliação de linhagens de feijão preto do ciclo 0 (C_0), nas safras das águas 2018 e seca de 2019. Coimbra, MG..... 42
Tabela 8. Resumo das análises de variância conjuntas da produtividade de grãos, em kg ha^{-1} (PROD) e aspecto de grãos (AG) referentes à avaliação de linhagens de feijão preto do ciclo 0 (C_0), nas safras das águas 2018 e seca de 2019. Coimbra, MG..... 43
Tabela 9. Estimativas de ganhos diretos e indiretos, considerando uma intensidade de seleção de 20%, em relação à produtividade de grãos, em kg ha^{-1} (PROD), aspecto de grãos (AG) e arquitetura de planta (ARQ), nas safras das águas 2018 e da seca 2019. Coimbra, MG..... 44
Tabela 10. Médias de produtividade de grãos, em kg ha^{-1} (PROD), aspecto de grãos (AG) e arquitetura de planta (ARQ), das 33 linhagens classificadas segundo o índice genótipo-ideótipo. Safras das águas de 2018 e da seca de 2019. Coimbra, MG..... 46
Tabela 11. Estimativas dos ganhos preditos (GS), considerando uma intensidade de seleção de 20% pelo índice genótipo-ideótipo, em relação à produtividade de grãos, em kg ha^{-1} (PROD), aspecto de grãos (AG) e arquitetura de planta (ARQ), nas safras das águas 2018 e da seca 2019. Coimbra, MG..... 47

Tabela 12. Resumo das análises de variância individuais da produtividade de grãos, em kg ha^{-1} (PROD) e arquitetura de planta (ARQ), referentes à avaliação de 20 populações F_3 do ciclo um (C_1), na safra das águas de 2018. Coimbra, MG..... 49
Tabela 13. Médias de produtividade de grãos, em kg ha^{-1} (PROD) e arquitetura de planta (ARQ), das 20 populações F_3 do ciclo um (C_1), avaliadas na safra das águas de 2018. Coimbra, MG..... 50
Tabela 14. Probabilidade de superar o padrão em 20% (PSP) das 20 populações segregantes F_3 do ciclo C_1, em relação à testemunha BRS Esteio, considerando produção de grãos (PG) e diâmetro do hipocótilo (DH)..... 51

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 11

2 OBJETIVOS 14

3 REVISÃO DE LITERATURA 15

3.1 A cultura do feijoeiro 15

3.2 Melhoramento genético do feijoeiro 16

3.3 Caracteres de interesse no melhoramento 17

3.3.1 Produtividade de grãos 17

3.3.2 Arquitetura de planta 18

3.3.3 Aspecto comercial de grãos 19

3.3.4 Resistência a patógenos 20

3.4 Estratégias utilizadas no melhoramento do feijoeiro 21

3.5 Aplicação de índices de seleção no melhoramento 27

4 MATERIAL E MÉTODOS 29

4.1 Avaliação de linhagens derivadas do ciclo zero (C_0) 30

4.2 Predição do potencial de populações F_3 do ciclo um (C_1) 35

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 39

5.1 Avaliação de linhagens do ciclo C_0 39

5.2 Avaliação das populações F_3 do ciclo um (C_1) 48

6 CONCLUSÕES 53

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 54

8 APÊNDICES 62

1 INTRODUÇÃO

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris,* L.) desempenha papel fundamental na alimentação da população brasileira. A sua importância está associada ao fato de fornecer nutrientes essenciais à alimentação humana (MESQUITA et al., 2007) e por se adaptar bem às variadas condições edafoclimáticas, sendo cultivado do Norte ao Sul do país, em até três safras ao ano (PEREIRA et al., 2009; BORÉM; CARNEIRO, 2015). O Brasil se destaca como o maior produtor mundial de feijão-comum. Na safra 2018/2019 a produção brasileira foi de 3,02 milhões de toneladas, em uma área de 2,93 milhões de hectares, com uma produtividade média de 1031 kg ha^{-1} (CONAB, 2019).

No Brasil, vários tipos de feijões são cultivados. Entre os feijões comercializados no país se encontram os tipos carioca, preto, vermelho, roxo, mulatinho, rosinha e manteigão. A preferência da população por um determinado tipo comercial é uma característica regional. Contudo, o feijão carioca é o mais cultivado e consumido no Brasil. O segundo tipo mais consumido é o feijão preto, principalmente na região Sul e no estado do Rio de Janeiro (BORÉM; CARNEIRO, 2015). A produção nacional de feijão preto na safra 2018/2019 foi de 497,3 mil toneladas, em uma área de 340,4 mil hectares e com média de produtividade em torno de 1461 kg ha^{-1} (CONAB, 2019).

Os melhoristas têm constantemente empenhado esforços na obtenção de cultivares que atendam os anseios dos agricultores e dos consumidores. Caracteres como produtividade de grãos, arquitetura da planta, aspecto de grãos e maior resistência a patógenos têm recebido grande destaque nos programas de melhoramento do feijoeiro (MOURA et al. 2013; RAMALHO; ABREU, 2015).

O melhoramento de feijão no Brasil é conduzido predominantemente por empresas públicas (BORÉM; CARNEIRO, 2015). No estado de Minas Gerais, tanto a Universidade Federal de Viçosa (UFV) quanto a Universidade Federal de Lavras (UFLA) atuam no melhoramento do feijoeiro e diversas cultivares foram recomendadas por essas instituições em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) (ABREU; DEL PELOSO, 2004). Por serem mais aceitos no país, os feijões de grãos do tipo carioca e preto recebem maior atenção dos programas de melhoramento.

A hibridação tem sido a principal estratégia para a obtenção de novas cultivares de feijão (RAMALHO et al., 2012). Este é o método de melhoramento mais indicado para obter linhagens que reúnam vários fenótipos desejáveis (MENEZES JÚNIOR, 2011).

Através da hibridação, várias populações segregantes são produzidas, deste modo, a escolha das que apresentem maior potencial para a extração de linhagens superiores evita perda de tempo e de recursos financeiros em um programa de melhoramento (RAMALHO et al., 2012). Algumas metodologias auxiliam o melhorista na escolha dos genitores ou populações segregantes. Na cultura do feijoeiro, se destaca às análises dialélicas, estimativas de m + a' e d e à metodologia de Jinks e Pooni (1976).

Uma vez escolhidas as melhores populações segregantes e o modo como serão cruzadas, a etapa seguinte é condução dessas à homozigose associada a algum método de seleção. Em plantas autógamas, os métodos tradicionais utilizados são o método genealógico ou *pedigree*, o método da população ou *bulk* e o SSD (descendência por uma única semente). Entretanto, um desafio encontrado se deve ao fato que os genes que controlam os fenótipos favoráveis de diferentes características de interesse se encontram em diferentes genitores. Sendo assim, torna-se quase impossível reunir os vários fenótipos de interesse em um único ciclo seletivo (SILVA et al., 2013). Neste sentido, isso se torna possível a partir de repetidos ciclos de seleção e recombinação, ou seja, por meio da seleção recorrente (RAMALHO et al., 2001).

A partir de ciclos repetidos de avaliação, seleção e recombinação, a seleção recorrente visa o aumento da frequência de alelos favoráveis nas populações quanto às características de interesse (BORÉM; MIRANDA, 2013). Sua eficiência já é comprovada no melhoramento de plantas autógamas, especialmente no feijoeiro (RAMALHO et al., 2005; MENEZES JÚNIOR et al., 2008; ARANTES et al., 2010; SILVA et al., 2010; MENEZES JÚNIOR et al., 2013).

Após à obtenção das linhagens, deve-se identificar aquelas com potencial para comporem os Ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU). Em um programa de melhoramento uma dificuldade presente é o desenvolvimento de materiais genéticos superiores que apresentem, simultaneamente, um conjunto de caracteres de interesse. Uma ferramenta importante para auxiliar um processo seletivo é o emprego dos índices de seleção. A aplicação de diferentes índices permite combinar múltiplas observações efetuadas nos genótipos avaliados, possibilitando a seleção com base em um complexo de variáveis de importância econômica.

Na literatura, encontram-se descritas várias metodologias de índice de seleção (CRUZ et al., 2012). Como exemplo pode ser citado o índice multiplicativo (SUBANDI et al., 1973), que efetua a seleção exclusivamente com base em um valor mínimo aceitável para cada caráter,

posteriormente classificando os genótipos para todos os caracteres simultaneamente (GARCIA; SOUZA JÚNIOR, 1999). Outro índice comumente utilizado nos programas de melhoramento é o índice da distância genótipo-ideótipo. Este índice fixa um valor ótimo para cada característica, construindo assim um ideótipo. Para cada genótipo é calculado uma distância em relação a esse ideótipo, sendo essa distância o próprio índice (CARVALHO et al., 2002).

2 OBJETIVOS

Identificar linhagens de feijão preto do ciclo C_0 do Programa de Seleção Recorrente visando seu uso na composição de Ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU);

Predizer o potencial de populações do ciclo C_1 visando a extração de novas linhagens;

Dar continuidade ao Programa de Seleção Recorrente de feijão preto.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A cultura do feijoeiro

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das mais importantes leguminosas consumidas no mundo. A cultura é um dos componentes básicos da dieta dos brasileiros, constituindo uma das principais fontes de proteína, na dieta alimentar de populações economicamente menos favorecidas (BORÉM; CARNEIRO, 2015). O feijão é um alimento que fornece nutrientes essenciais à alimentação humana, como proteínas, ferro, cálcio, magnésio, zinco, vitaminas (principalmente do complexo B), carboidratos e fibras (MESQUITA et al., 2007). Com o consumo médio de aproximadamente 18 kg *per capita* por ano, cerca de 70% da população brasileira consome feijão diariamente (SILVA; WANDER, 2013; BORÉM; CARNEIRO, 2015).

O cultivo dessa leguminosa está presente de Norte ao Sul do país, além de ser possível em até três safras por ano (FUSCALDI; PRADO, 2005; BORÉM; CARNEIRO, 2015). A safra das águas ou 1ª safra, cujo plantio é realizado entre os meses de agosto a novembro e colheita de novembro a fevereiro, está concentrada nas regiões Sul, Sudeste e no Estado da Bahia. É a maior das três safras, em produção e rendimento. A safra da seca ou 2ª safra apresenta o período de plantio variando entre os meses de janeiro a março e colheita de março a junho. Essa safra abrange os estados das regiões Sudeste e Sul, com concentração na Região Nordeste. A safra de inverno ou 3ª safra, se destaca por ser um cultivo de alta tecnificação, praticada principalmente por grandes produtores em grandes áreas no qual cultiva-se o feijão irrigado. O plantio ocorre entre abril e julho e colheita de julho a outubro, se concentrando nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Goiás e Bahia.

Considerando apenas a produção de feijão-comum, o Brasil é o maior produtor mundial. De acordo com a CONAB (2019), na safra 2018/2019 a produção brasileira foi de 3,02 milhões de toneladas de feijão, em uma área de 2,93 milhões de hectares, com a produtividade média de 1031 kg ha^{-1}. Os estados do Paraná, Minas Gerais e Mato Grosso são os maiores produtores nacionais com a produção de 613,3, 542,6 e 344,8 mil toneladas respectivamente. A cultura do feijoeiro ocupa uma posição de destaque na produção nacional, com a quarta maior área colhida, ficando atrás somente das culturas da soja, milho e cana-de-açúcar (CONAB, 2019; IBGE, 2020).

A comercialização e a produção de feijão são definidas quanto à preferência do consumidor brasileiro por essa leguminosa. O grão de feijão apresenta grande diversidade

quanto as suas características visuais, em particular se tratando da cor do tegumento. Entre os feijões comercializados no Brasil se encontram os tipos carioca, preto, vermelho, roxo, mulatinho, rosinha e manteigão. Entre eles, destaca-se o grão tipo carioca, sendo o mais cultivado e consumido no país, alcançando aproximadamente 70% da produção nacional (MELO et al., 2010; BORÉM; CARNEIRO, 2015). O grão do tipo preto é o segundo mais plantado, apresentando maior aceitação nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Rio de Janeiro e Espírito Santo (VIEIRA et al., 2005). Segundo dados da CONAB (2019), a produção nacional de feijão preto na safra 2018/2019 foi de 497,3 mil toneladas, em uma área de 340,4 mil hectares e com média de produtividade em torno de 1461 kg ha^{-1}. Os demais tipos são consumidos de acordo com regiões mais específicas, como o tipo vermelho, consumido principalmente na Zona da Mata de Minas Gerais (RAMALHO; ABREU, 2015).

3.2 Melhoramento genético do feijoeiro

No Brasil, segundo Carneiro (2002), o feijão é cultivado em grande parte dos estados, em diferentes condições edafoclimáticas, épocas e sistemas de cultivo. Em condições tropicais o melhorista se depara com maiores desafios, visto que a heterogeneidade dos solos são maiores, exigindo que as cultivares recomendadas aos agricultores apresentem, além da alta produtividade de grãos, maior estabilidade. Deste modo, evidencia a dificuldade para se realizar, com êxito, o melhoramento do feijoeiro.

Entre os objetivos do melhoramento genético de plantas destacam-se o aumento da produtividade; a melhoria da qualidade nutricional dos alimentos (aumento no teor de proteínas no feijão por exemplo); precocidade; uniformidade; obtenção de variedades para colheita mecanizada; resistência a adversidades ambientais (clima, solo, etc); resistência a doenças e resistência a pragas (AMABILE et al., 2018).

Os programas de melhoramento genético do feijoeiro no Brasil são restritos e concentrados, predominantemente no setor público (VIEIRA et al. 2005; MATOS et al., 2007). As principais instituições que trabalham com o melhoramento genético do feijão no Brasil são: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Instituto Agronômico de Campinas (IAC), Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), Universidade Federal de Lavras (UFLA) e Universidade Federal de Viçosa (UFV). O Convênio “Melhoramento de Feijoeiro para o Estado de Minas Gerais” firmado entre a EMBRAPA, EPAMIG, UFLA e UFV é responsável por

desenvolver linhagens dos grupos comerciais carioca, preto e da classe cores para o Estado de Minas Gerais.

Dentre as primeiras cultivares de feijão preto recomendadas no Brasil, vale destacar a cultivar Rico 23, introduzida da Costa Rica e recomendada pela UFV inicialmente para Minas Gerais em 1959 e, anos mais tarde, para vários outros estados (VIEIRA et al., 2005). Outra importante cultivar de grãos pretos foi a Ouro Negro, recomendada em 1991, também para Minas Gerais, persistindo até hoje na preferência dos produtores e consumidores de feijão preto, pela sua excelente qualidade de grãos (PAULA JÚNIOR et al., 2010).

Para o estado de Minas Gerais, diversas cultivares de feijão preto foram recomendadas, entre elas: BRS Valente, no ano de 2001, BRS Grafite, em 2003 e BRS Supremo, em 2005, resultantes de pesquisas entre a Embrapa Arroz e Feijão, a UFV, a UFLA e a EPAMIG (PAULA JÚNIOR et al., 2010). Apesar do número considerável de cultivares recomendadas, estas ainda deixarem a desejar quanto a uma ou mais caracteres, tais como produtividade de grãos, aspecto comercial dos grãos, arquitetura de planta e resistência a doenças.

Os programas de melhoramento, no Brasil, visam obter cultivares que associam alta produtividade de grãos e características fenotípicas favoráveis para os demais caracteres de interesse do consumidor e do agricultor. Assim, a busca por novas cultivares é rotina nos programas de melhoramento de feijão preto, devido a sua importância no mercado nacional.

3.3 Caracteres de interesse no melhoramento

3.3.1 Produtividade de grãos

A produtividade de grãos é um dos caracteres quantitativos de maior importância, dessa forma, recebe grande atenção nos programas de melhoramento do feijoeiro (COLLICCHIO et al., 1997; CUNHA et al., 2005; MENEZES JÚNIOR et al., 2008).

A seleção de genótipos superiores para produtividade de grãos é complexa. Características como a produtividade de grãos e a arquitetura de planta são controladas por vários genes e sofrem grande influência ambiental (COLLICCHIO et al., 1997; RAMALHO et al., 1998). A busca por caracteres secundários que possam auxiliar na seleção de genótipos superiores tem sido um objetivo importante nos programas de melhoramento.

3.3.2 Arquitetura de planta

A arquitetura de planta é uma característica importante no melhoramento do feijoeiro (RAMALHO; ABREU, 2006). O objetivo é o desenvolvimento de cultivares de feijão com arquitetura de planta mais ereta, por apresentarem vantagens, como a maior facilidade nos tratos cultura; favorecerem a colheita mecanizada da cultura; menor suscetibilidade a doenças, reduzindo a severidade de doenças como o mofo-branco, por permitir mais arejamento das plantas, condição menos favorável ao patógeno; maior tolerância ao acamamento e menor perda durante a colheita, uma vez que as vagens não ficariam em contato com o solo (RAMALHO et al., 2004; MENEZES JÚNIOR, 2011).

A arquitetura da planta do feijoeiro é determinada por vários caracteres, entre eles, destacam o hábito de crescimento e tipo de planta. As plantas de feijão são classificadas em quatro tipos: I, II, III e IV. Nesta classificação, considera-se principalmente o hábito de florescimento e o porte da planta (SANTOS; GAVILANES, 2006).

Quanto ao hábito de crescimento, as plantas são classificadas em hábito determinado quando a floração inicia-se do ápice para a base da planta, e as hastes principal e laterais terminam em inflorescência; e em hábito indeterminado quando os meristemas apicais continuam vegetativos, com crescimento contínuo e o florescimento ocorre da base para o ápice da planta (COLLICCHIO et al., 1997). Plantas do tipo I apresentam hábito de crescimento determinado enquanto os demais tipos apresentam hábito indeterminado. O tipo II é caracterizado por plantas eretas, guia curta e maior número de internódios na haste principal. Plantas do tipo III são prostradas e de modo geral apresentam guia longa. Já as plantas do tipo IV apresentam forte dominância apical, portanto necessitam de tutoramento.

Os programas de melhoramento do feijoeiro que objetivam a melhoria da arquitetura de planta, em geral, buscam o desenvolvimento de cultivares com plantas do tipo II, por apresentarem hábito de crescimento indeterminado, porte ereto e maior altura de inserção da primeira vagem, sendo assim, mais apropriadas à colheita mecanizada (COLLICCHIO et al., 1997; SILVA; WANDER, 2013).

O emprego de escalas de notas tem sido um critério amplamente utilizado pelos programas de melhoramento para avaliar a arquitetura de planta (TEIXEIRA et al., 1999; MENEZES JÚNIOR et al., 2008; SILVA et al., 2009). O Programa de Melhoramento de Feijão da UFV tem utilizado a escala proposta por Collicchio et al. (1997), adaptada por Ramalho et al. (1998), onde são dadas notas de 1 a 5 nas plantas, em que: 1 - planta ereta com uma haste, poucas ramificações; 2 - planta ereta com algumas ramificações, guia curta, 3 - planta semi-

prostrada com ramificações, guia mediana; 4 - planta prostrada com ramificações, guia longa; 5 - planta completamente prostrada com muitas ramificações, guias muito longas.

A avaliação visual de plantas é um critério de difícil mensuração, demandando experiência para uma avaliação precisa. A arquitetura do feijoeiro também está relacionada a vários aspectos morfológicos, de acordo com Moura et al. (2013) os caracteres diâmetro do hipocótilo, ângulo de inserção dos ramos e a altura de plantas são as principais características secundárias determinantes da arquitetura de planta do feijoeiro. De acordo com seu trabalho, o diâmetro do hipocótilo é um indicador efetivo da arquitetura de planta do feijoeiro e pode auxiliar, ou substituir, a avaliação por notas. Desta maneira, a utilização de outros caracteres de maior facilidade de mensuração e sujeitos a menos erros, por meio da avaliação indireta para arquitetura de planta, tem sido ferramentas úteis e muito utilizadas nos programas de melhoramento.

3.3.3 Aspecto comercial de grãos

O aspecto comercial de grãos é uma característica fundamental para a aceitação de uma cultivar. A preferência dos consumidores e dos agricultores varia quanto a essa característica (forma, tamanho, brilho, cor), influenciando na comercialização do produto e na aceitação do produto no mercado. Dessa forma, durante as etapas do melhoramento, a tendência do mercado e as preferências do consumidor devem ser levadas em consideração.

A seleção para essa característica é complexa, visto que o controle genético é influenciado por vários genes. Acredita-se que existam mais de 18 genes que atuam na cor do grão, nas formas de manchas e listras e nas cores de halo, produzindo assim uma enorme diversidade de tipos de grãos quanto a coloração (GEPTS; DEBOUCK, 1991).

Uma das etapas de seleção para aspecto de grãos é a avaliação visual dos grãos. Atualmente os programas de melhoramento do feijoeiro buscam desenvolver linhagens com um bom aspecto de grão, ou seja, grãos claros para feijão carioca e opacos para feijão preto, formato oblongo e massa de 100 grãos de 25 gramas, aproximadamente. A principal escala de notas utilizada pelos programas de melhoramento foi proposta por Ramalho et al. (1998) sendo utilizada para o melhoramento de feijão carioca.

Para avaliação do aspecto comercial de grãos tipo preto, foi adotada uma escala de notas variando de 1 a 5, semelhante à usada por Ramalho et al. (1998), em que nota 1, considerada padrão, se refere ao grão tipo preto, sem presença de brilho, não achatado e com formato elíptico; nota 2, grão tipo preto com deficiência em uma das características mencionadas no

padrão; nota 3, grão tipo preto com deficiência em duas características mencionadas no padrão; nota 4, grão tipo preto com deficiência em três das características mencionadas no padrão; e nota 5, grão fora do padrão preto.

3.3.4 Resistência a patógenos

Entre os vários fatores que limitam a produtividade do feijoeiro e o desempenho da cultura, as doenças ocupam lugar de destaque. A resistência a doenças tem gerado grande atenção dos melhoristas, pois é grande o número de enfermidades que podem prejudicar a cultura (SINGH; SCHWARTZ, 2010). A cultura do feijoeiro é cultivada em praticamente todo o território nacional, durante várias safras ao ano (MELO et al., 2005). A sua exposição a diferentes condições ambientais possibilita a incidência de diferentes doenças com níveis de severidade variáveis.

O feijoeiro-comum é atacado por diversas doenças, sendo as mais frequentes a antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*), ferrrugem (*Uromyces appendiculatus*), mancha-angular (*Pseudocercospora griseola*), murcha-de-fusário (*Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli*) e mofo-branco (*Sclerotinia sclerotiorum*), entre as causadas por fungos. Entre as causadas por vírus são mais importantes o vírus do mosaico comum do feijoeiro (*Bean common mosaic vírus*) e vírus do mosaico dourado do feijoeiro (*Bean golden mosaic vírus*) e entre as causadas por bactérias o crestamento bacteriano comum (*Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*) e murcha de curtobacterium (*Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens*) (PAULA JÚNIOR; ZAMBOLIM, 2006).

A principal alternativa de controle de doenças é a obtenção de cultivares resistentes, sendo este um dos principais objetivos em diversos programas de melhoramento no Brasil e no mundo (PEREIRA, 2007; PEREIRA et al., 2011; RAMALHO; ABREU, 2015). A obtenção de cultivares com resistência durável, características agronômicas aceitáveis e que supere os cultivares comerciais já existentes é o principal intuito do melhoramento visando a resistência à doenças (PEREIRA et al., 2012; RAMALHO; ABREU, 2015).

Existem três etapas fundamentais na obtenção de linhagens resistentes, sendo elas, a identificação das fontes de resistência, a realização de cruzamentos entre linhagens resistentes com linhagens recomendadas e a seleção dos indivíduos resistentes nas populações segregantes (PEREIRA et al., 2008). Para isso, deve ser realizado um estudo da herança da resistência ao patógeno, considerando suas raças fisiológicas, a transferência dos alelos em questão utilizando

os métodos conhecidos e a avaliação com pressão suficiente do patógeno para a identificação dos indivíduos suscetíveis e resistentes (RONZELLI JUNIOR, 1996).

3.4 Estratégias utilizadas no melhoramento do feijoeiro

A existência de variabilidade genética é a base de um programa de melhoramento. Essa variabilidade pode ser criada ou pode-se utilizar a variabilidade natural já disponível. Comumente, novos programas de melhoramento, ainda não consolidados, utilizam a variabilidade natural como estratégia para obtenção de novas cultivares. Várias cultivares de feijão introduzidas do Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) foram recomendadas no Brasil por meio desse método de melhoramento, principalmente, nas décadas de 1980 e 1990 (VOYSEST, 2000). Em 1959 a UFV lançou sua primeira cultivar de feijão, "Rico 23", de grãos pretos, originária da Costa Rica, cultivar obtida por meio da estratégia de introdução de plantas. Outro exemplo de linhagem introduzida, de muito sucesso no Brasil, é a cultivar Ouro Negro, originada em Honduras. Esta cultivar é utilizada pelos agricultores desde o início da década de 1990. Entre seus principais atributos pode-se destacar a alta produtividade de grãos, ampla adaptação às condições de cultivo, tolerância a várias doenças e excelente qualidade de grãos (MENEZES JÚNIOR, 2011).

Outro método de melhoramento utilizado na cultura do feijoeiro que aproveita a variabilidade natural é a seleção de linhas puras. Por ser uma cultura no qual os produtores utilizam seus próprios grãos como semente para o próximo plantio, espera-se que haja variabilidade no material cultivado após vários anos de utilização. Essa variabilidade possivelmente advém de mutações, misturas mecânicas e cruzamentos naturais (RAMALHO et al., 2001). A cultivar Carioca é um exemplo, de grande sucesso, obtida por meio da seleção de linhas puras (ALMEIDA et al., 1971).

A hibridação é o principal método, atualmente, utilizado nos programas de melhoramento para gerar variabilidade, reunindo alelos favoráveis de dois ou mais genitores em uma população, o que possibilita a obtenção de linhagens com a combinação dos caracteres desejáveis (RAMALHO et al., 2012). O uso da hibridação é rotina nos programas de melhoramento, e tem sido a principal fonte de novas linhagens de feijoeiro (VIEIRA et al., 2005; MELO et al., 2006; COUTO et al., 2008; ROCHA, 2008; MENEZES JÚNIOR et al., 2011). No melhoramento do feijão, usualmente é realizado a hibridação entre cultivares e linhagens, possibilitando a recombinação da variabilidade existente, produzindo cultivares adaptadas a diferentes ambientes (RAMALHO et al.,1993).

As etapas de escolha dos genitores ou das populações segregantes, hibridação desses genitores ou populações e a condução destas à homozigose, visando à extração de linhagens superiores, são fundamentais para definir o sucesso de um programa de melhoramento por hibridação em plantas autógamas. Entretanto, dependendo do número de genitores empregados nos cruzamentos, o número de populações segregantes gerado pode ser grande, inviabilizando a condução de todas estas populações. Desta forma, faz-se necessário a correta escolha do método de seleção dos genitores mais promissores e/ou as populações segregantes com maior potencial de derivar linhagens, evitando perda de tempo e de recursos financeiros (RAMALHO et al., 2012).

A escolha da população segregante é fundamental no processo seletivo, logo, é importante na condução de um programa de melhoramento. O conhecimento prévio do comportamento das populações pode aumentar a eficiência dos programas de melhoramento, evitando que populações pouco promissoras sejam conduzidas até fases avançadas do processo (BARROSO; HOFFMANN, 2003).

Quando o objetivo é melhorar um caráter controlado por poucos genes e pouco influenciado pelo ambiente, ou seja, de herança simples, a escolha dos genitores é facilitada pois é necessário ter um dos genitores portador do alelo de interesse e o outro que tenha boa adaptação. A escolha dos genitores é dificultada quando se deseja melhorar caracteres de herança complexa, como a produtividade de grãos, assim, os genitores escolhidos devem gerar populações segregantes que possuem média alta e variabilidade genética suficiente para praticar seleção de linhagens superiores aos pais (RAMALHO et al., 1993; SANTOS et al., 2001a).

As metodologias que levam em consideração o desempenho *per se* dos genitores, a diversidade genética entre eles e o comportamento das progênies oriundas dos cruzamentos se destacam no auxílio aos melhoristas na escolha de genitores e, ou, populações segregantes (RAMALHO et al., 2012). Entre os métodos de escolha de genitores em função do desempenho de suas progênies, na cultura do feijoeiro, tem-se dado ênfase às análises dialélicas, estimativas de m + a' e d e à metodologia de Jinks e Pooni (1976).

Nas análises dialélicas, a escolha se baseia em estimativas de capacidade geral e específica de combinação dos genitores, que são obtidas pelo desempenho dos próprios genitores e de seus híbridos. Na metodologia de m + a' e d, as populações são avaliadas em pelo menos duas gerações subsequentes de endogamia nas mesmas condições ambientais, com base em seus desempenhos médios.

A metodologia de Jinks e Pooni (1976), estima a probabilidade de uma dada população gerar linhagens que superem um determinado padrão. Esse método permite fazer previsões

sobre o comportamento das linhas puras com base em informações das gerações iniciais, utilizando estimativas de média e variância genética, o qual permite a análise detalhada da estrutura e potencial genético do material avaliado. Logo, possibilitando o descarte de populações segregantes pouco promissoras logo no início do programa, resultando na economia de tempo e recursos (CRUZ et al., 2012). Para o seu emprego são avaliadas plantas individuais dentro de cada população, fazendo-se suficiente, a avaliação de apenas uma geração.

O princípio desta metodologia baseia-se no fato de que, na ausência de seleção, os valores médios fenotípicos das linhagens na geração F∞ resultante do cruzamento de dois genitores homozigóticos, segue a distribuição normal quando se consideram características quantitativas controladas por seis ou mais genes. Assim, usando as propriedades desta distribuição é possível estimar a probabilidade de ocorrência de linhagens com valor médio fenotípico que superem um determinado padrão. Para a sua aplicação considere-se que a média da geração F_3 é igual a média da geração F∞. Vale ressaltar que esta pressuposição é válida quando não se observa a ocorrência de efeitos de dominância na determinação do caráter de interesse.

A metodologia de Jinks e Pooni (1976) tem sido empregada no melhoramento de culturas autógamas como o feijão-comum (ABREU et al., 2002; CARNEIRO et al., 2002; MENDONÇA et al., 2002; ROCHA et al., 2013), arroz (SANTOS et al., 2001), trigo (PIMENTEL et al., 2013) e soja (TRILLER; TOLEDO, 1996).

Uma vez escolhidos os genitores, estes devem ser cruzados para obtenção das populações segregantes. O número e forma de intercruzamento de potenciais genitores também merecem destaque em um programa de melhoramento por hibridação (HUEHN, 1996). Existem diferentes opções para a realização dos cruzamentos (simples, duplo, triplo, múltiplo). Os cruzamentos são, em geral, realizados entre genitores cujas características de interesse são complementares e necessárias para solucionar os problemas que ocorrem em uma determinada região. Um desafio encontrado pelo melhorista se deve ao fato que os alelos que conferem os fenótipos favoráveis de diferentes características de interesse não se encontram em um único genitor (SILVA et al., 2013), assim, frequentemente é necessário a inclusão de vários genitores nos blocos de cruzamentos para a obtenção das populações segregantes.

Considerando o método da hibridação, uma decisão importante é a escolha do método de condução das populações segregantes até a homozigose. Existem vários métodos tradicionais descritos na literatura utilizados em plantas autógamas (RAMALHO et al., 2001; VIEIRA et al., 2005; BORÉM; MIRANDA, 2013), cada um com vantagens e desvantagens. Os

métodos mais comumente utilizados são: método genealógico, método da população ou *bulk* e o método SSD (*Single Seed Descent*).

O método genealógico, também denominado método *pedigree*, tem como princípio a seleção com teste de progênie e o conhecimento da genealogia dos tipos selecionados para permitir a maximização da eficiência da seleção (BORÉM; MIRANDA, 2013). O método apresenta como vantagens o controle do grau de parentesco durante as seleções e o descarte de progênies indesejadas nas gerações iniciais. Porém, além de apresentar elevada demanda de mão de obra, é pouco eficiente quando se trata do melhoramento de caracteres de baixa herdabilidade (CARNEIRO, 2002). A principal desvantagem desse método é que a seleção é apenas visual e apresenta sua eficiência questionada (CUTRIM et al., 1997; RAMALHO et al., 2001; MORETO et al., 2007; BORÉM; MIRANDA, 2013).

O método da população, também conhecido como *bulk* constitui-se um método simples e prático que permiti o cultivo de grandes populações sem muito esforço, aumentando assim a oportunidade de selecionar plantas com alta produtividade. Durante o avanço das gerações, a seleção natural pode ser uma vantagem do método quando sua ação se dá na direção desejada pelo melhorista. Contudo, no feijoeiro o método apresenta riscos de perda de genótipos desejáveis com baixa capacidade de competição e a perda de combinações genotípicas devido à deficiência na amostra utilizada nos subsequentes avanços de gerações (BORÉM; MIRANDA, 2013).

Visando maior adequação aos objetivos do melhorista e maior eficiência no processo seletivo algumas modificações são realizadas no método *bulk.* Atualmente, o método *bulk* dentro de famílias tem sido empregado no melhoramento de plantas autógamas. O método consiste na seleção de plantas individuais nas gerações F_2, F_3 ou F_4, em que, cada planta originará uma família. As famílias então obtidas são colhidas em *bulk* e avaliadas em experimentos com repetições. Nesse método, tem-se a vantagem de poder reduzir as perdas por amostragem, pois os descendentes das plantas F_2 ou F_3 são mantidos individualizados (MENEZES JÚNIOR, 2011). Para a cultura do feijoeiro, são efetuadas seleções de forma mais criteriosa entre as famílias para vários caracteres de interesse no melhoramento, especialmente para caracteres de baixa herdabilidade, como produtividade de grãos (RAMALHO et al., 2001; CARNEIRO, 2002). Esse método tem sido cada vez mais empregado nos programas de melhoramento do feijoeiro no Brasil, sobretudo em programas de seleção recorrente (RAMALHO et al., 2005; AMARO et al., 2007; MENEZES JÚNIOR et al., 2008).

O método SSD (*Single Seed Descent* ou descendente de uma única semente), consiste em uma técnica de avanço de gerações, coletando-se uma semente ou vagem por planta para

estabelecer a geração subsequente (BORÉM; MIRANDA, 2013). O procedimento é repetido em todas as gerações, até que o nível de homozigose desejado seja atingido. Assim, cada linhagem corresponde a uma planta F_2 diferente, reduzindo a perda por amostragem (RAMALHO et al., 2001). A principal vantagem desse método é a possibilidade de atingir o nível desejado de homozigose mais rapidamente e, assim, partir para a seleção de linhas puras. Porém, no Brasil, é possível o cultivo em campo do feijoeiro em até três gerações por ano. Logo, a principal vantagem desse método, que é o rápido avanço das gerações, deixa de existir (RAMALHO et al., 1993; CARNEIRO, 2002; VIEIRA et al., 2005; BORÉM; MIRANDA, 2013).

A probabilidade de seleção de indivíduos superiores com relação a vários caracteres em apenas um ciclo de seleção é pequena e dessa maneira, uma alternativa que vem sendo aplicada com êxito é a estratégia da seleção recorrente. Programas de melhoramento de autógamas têm utilizado a seleção recorrente, nos últimos anos, particularmente no melhoramento do feijoeiro (MENEZES JÚNIOR et al., 2013). A seleção recorrente foi definida por Ramalho et al. (2001) como sendo qualquer processo cíclico de melhoramento que envolve a obtenção de famílias, avaliação e o intercruzamento das melhores. O método consiste em ciclos repetidos de melhoramento que envolve a avaliação, seleção e recombinação, visando o aumento da frequência de alelos favoráveis nas populações quanto às características de interesse, sem que a variabilidade genética seja esgotada para progressos futuros, sendo uma técnica especialmente útil no melhoramento de caracteres quantitativos (BORÉM; MIRANDA, 2013).

A seleção recorrente é um método dinâmico que compreende as fases de obtenção da população base; avaliação e seleção dos melhores indivíduos ou famílias e recombinação das selecionadas de maneira direcionada para que seja obtido o ciclo seguinte. Com o uso desse método, no caso do feijoeiro é possível obter linhagens potenciais a cada ciclo, que geralmente leva de dois a três anos, quando a avaliação é feita utilizando famílias (RAMALHO et al., 2005).

As principais vantagens da seleção recorrente são a obtenção de maior variabilidade genética pelo intercruzamento de múltiplos genitores; maior recombinação genética devido aos sucessivos ciclos de cruzamentos; maior eficiência no acúmulo de alelos favoráveis, devido ao processo repetitivo de seleção e possibilidade de incorporação de germoplasma exótico na população; além da oportunidade de obtenção de linhagens superiores a cada ciclo seletivo e inclusão de novas linhagens no processo de recombinação (GERALDI, 1997).

A etapa da escolha dos genitores para a formação da população base, é fundamental para o sucesso do programa. Os genitores selecionados, devem apresentar desempenho superior para

os caracteres de interesse, associando média favorável e alta variabilidade genética para esses caracteres (VIEIRA et al., 2005).

Em relação às etapas envolvidas em cada ciclo Ramalho et al. (2012) recomendam que a medida que populações segregantes são obtidas através das hibridações direcionadas, em cada ciclo se proceda a seleção dos indivíduos ou progênies superiores.

Quando envolver caracteres de elevada herdabilidade, as etapas de avaliação e seleção, visando a recombinação ou a extração de linhagens superiores, podem ser realizadas de maneira fenotípica. Se os caracteres considerados são muito influenciados pelo ambiente, essas etapas devem ser realizadas por meio de progênies (RAMALHO et al., 2012). Recomenda-se que a seleção seja baseada em experimentos com repetições e avaliações em vários ambientes tendo em vista obter estimativas mais acuradas dos valores genotípicos (VELLO; NAZATO, 2017). A avaliação das progênies em diferentes ambientes permite capitalizar o efeito da interação genótipos x ambientes, visando o desenvolvimento de linhagens com ampla adaptabilidade.

No melhoramento de diversas espécies autógamas, as populações segregantes são obtidas pelo cruzamento de várias linhagens previamente escolhidas como fonte de alelos favoráveis para os caracteres de interesse, tornando mais objetiva a prática da seleção (BRESEGHELLO; COELHO, 2013). Desta maneira, considerando o melhoramento de caracteres quantitativos, progênies oriundas destas populações são avaliadas em mais de um ambiente (safras, anos e locais) e em diferentes gerações de endogamia (BATISTA et al., 2017) e a etapa de seleção envolve tanto a comparação de progênies originadas de uma mesma população como a comparação de progênies oriundas de populações diferentes.

Sobre à etapa de recombinação, Bearzoti (1997) sugeriu um esquema pré-determinado de cruzamentos entre 20 linhagens ou progênies, que são cruzadas cada uma com outras duas, em esquema de dialelo circulante, de forma a manter em 20 o número total de populações obtidas em cada ciclo. Para caracteres quantitativos, neste ciclo e nos subsequentes, é selecionada a melhor progênie de cada população. Estas são recombinadas de forma pré-determinada seguindo a estrutura de recombinação de um dialelo circulante em que cada progênie cruza com duas outras. Através desse esquema, ao menos nos primeiros ciclos, não são repetidos pais na genealogia das populações. Os cruzamentos direcionados, no modelo de dialelo circulante, permitem que a contribuição de cada genitor seja a mesma nos sucessivos ciclos de intercruzamentos e que haja aumento do número de genitores com representatividade genética nas populações a cada ciclo seletivo (RAMALHO et al., 2012).

3.5 Aplicação de índices de seleção no melhoramento

Uma maneira de ampliar o sucesso de um programa de melhoramento é através da seleção simultânea de um conjunto de caracteres de importância econômica. Para obter materiais genéticos superiores é necessário que esses reúnam vários atributos desejáveis, que apresentem rendimentos comparativamente superiores e que satisfaça tanto as exigências do consumidor quanto do produtor.

A seleção de materiais genéticos com base em apenas uma ou poucas características não tem se mostrado eficiente, uma vez que leva à seleção de materiais que não apresentam desempenho favorável para aqueles caracteres não considerados na prática da seleção. Geralmente, os diversos caracteres de importância econômica estão correlacionados entre si, em magnitude e sentido variados. Assim, a seleção (direta ou indireta) em apenas um caráter pode proporcionar alterações, cujo sentido pode não ser o desejável, sendo fundamental a quantificação dos efeitos indiretos da seleção de um caráter sobre outros para orientar os programas de melhoramento (CRUZ et al., 2012).

Para implementar de maneira eficiente a seleção simultânea de caracteres, desenvolveram-se os índices de seleção. O uso do índice permite combinar diferentes informações, de maneira que a seleção seja com base em um complexo de variáveis que reúnam diversos atributos de interesse econômico, atendendo às expectativas do melhorista (CRUZ et al., 2012). O índice de seleção é geralmente uma função linear dos diferentes caracteres, estabelecido pela sua combinação ótima no qual cada variável é ponderada por um peso relativo à sua respectiva importância, sendo utilizado em programas de seleção recorrente (BERNARDO, 2010).

Diferentes índices identificam, de maneira rápida e eficiente, genótipos mais adequados para os objetivos do melhorista. Atualmente já se dispõem de recursos computacionais e aplicativos adequados à estimação desses índices (SANTOS; ARAÚJO, 2001; SANTOS, 2005).

Na literatura, encontram-se descritas dezenas de metodologias de índice de seleção (CRUZ et al., 2012). Como exemplos, podem ser citados o índice livre de pesos e parâmetros (ELSTON, 1963), índice clássico (SMITH, 1936; HAZEL, 1943), índice da distância genótipo-ideótipo (CARVALHO et al., 2002), índice dos ganhos desejados (PESEK; BAKER, 1969) e o índice multiplicativo (SUBANDI et al. 1973). Dentre eles, o índice proposto por Smith (1936) e Hazel (1943) e o índice com base em ganhos desejados de Pesek e Baker (1969) são os mais

utilizados (MARTINS et al., 2003; GONÇALVES et al., 2009) e são denominados índices genotípicos.

O índice de seleção pioneiro foi proposto Smith (1936) e Hazel (1943), conhecido também como o índice de seleção clássico, consiste na combinação linear dos valores fenotípicos dos vários caracteres de interesse, cujos coeficientes de ponderação são estimados de modo a maximizar a correlação entre o índice de seleção e o agregado genotípico. O agregado genotípico é estabelecido por outra combinação linear, envolvendo os valores genéticos, os quais são ponderados por seus respectivos valores econômicos (CRUZ et al., 2012).

Pesek e Baker (1969) propuseram um índice baseado em ganhos desejados, no qual se atribui os pesos econômicos relativos aos vários caracteres, levando em consideração a importância estabelecida pelo melhorista em sua determinação dos ganhos em cada característica (CRUZ et al., 2012).

O índice multiplicativo também apresenta-se como boa opção em programas de melhoramento, por não requerer o uso de pesos econômicos e estimativas de parâmetros genéticos, se torna uma alternativa de uso prático para a seleção de caracteres na cultura do feijoeiro (SUBANDI et al., 1973; MAZIERO et al., 2015). Esse índice classifica os genótipos para todos os caracteres ao mesmo tempo, permitindo efetuar a seleção exclusivamente com base em um valor mínimo aceitável para cada caráter (GARCIA; SOUZA JÚNIOR, 1999).

Outro índice comumente utilizado nos programas de melhoramento é o índice da distância genótipo-ideótipo. O índice é baseado na distância euclidiana entre cada genótipo e um ideótipo que consiste em fixar um valor ideal para cada caráter, criando desse modo, um genótipo ideal, ou ideótipo. Feito isso, obtém-se a diferença entre a média de cada caráter e o valor atribuído ao ideótipo, e calcula-se, para cada genótipo, uma distância em relação a esse ideótipo, sendo essa distância o próprio índice (CARVALHO et al., 2002). Deste modo, quanto menor a distância de um genótipo a um ideótipo, melhor classificado será o genótipo. O índice apresenta a vantagem de incluir pesos econômicos para cada caráter individualmente, permitindo a possibilidade de ganhos maiores naqueles caracteres de maior importância para o melhorista.

Os índices de seleção são apropriados para o uso em programas de seleção recorrente por permitir à identificação de um grupo de genótipos que apresentem o máximo de alelos favoráveis em relação a todas as características de interesse simultaneamente.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O material genético avaliado neste trabalho constituiu-se de linhagens derivadas do ciclo C_0 e populações F_3 do ciclo C_1 do Programa de Seleção Recorrente visando o melhoramento de feijão preto em desenvolvimento na Universidade Federal de Viçosa (UFV). Este programa teve início a partir de um dialelo parcial desenvolvido por Moura (2013), envolvendo 12 linhagens de feijão, sendo cinco de grãos pretos e sete de grãos tipo carioca, as quais diferem quanto ao porte da planta, resistência a doenças e potencial de produção (Tabela 1).

Tabela 1. Origem, grupo comercial, porte e resistência a doenças dos 12 genitores utilizados nos cruzamentos do dialelo parcial 5 x 7.

Genitor	**Origem**	**Grupo comercial**	**Porte**	**Resistência**
L 20	UFV	Preto	Semi-ereto	Ferrugem/Antracnose
Xamego	PESAGRO/EMBRAPA	Preto	Ereto	Murcha-de-fusário
TB 94-01	EMBRAPA	Preto	Ereto	-
BRS Valente	EMBRAPA	Preto	Ereto	Antracnose
Diamante Negro	EMBRAPA/ EMGOPA	Preto	Semi-ereto	Bacteriose
VC 12	UFV	Carioca	-	Ferrugem
VC 20	UFV	Carioca	Semi-ereto	Ferrugem
BRS Estilo	EMBRAPA	Carioca	Ereto	Ferrugem
CNFC 10720	EMBRAPA	Carioca	Ereto	Mofo-branco
MAI 1813	UFLA	Carioca	-	Mancha-angular
VC 16	UFV	Carioca	Semi-ereto	Mancha-angular
BRSMG Uai	UFLA	Carioca	Ereto	Murcha-de-fusário

Os cinco primeiros genitores constituíram o grupo 1 e os demais o grupo 2 do dialelo parcial.

Com base na capacidade geral e específica de combinação para as características produtividade de grãos e arquitetura de planta, Moura (2013) selecionou 20 populações segregantes (Tabela 2), as quais constituíram o ciclo zero (C_0) do Programa de Seleção Recorrente de feijão preto.

Tabela 2. Relação das 20 potenciais populações segregantes do ciclo zero (C_0) selecionadas por Moura (2013) e informações sobre porte e resistência a doenças de seus genitores.

Pop.	Genitores	Porte	Resistência
1	L20/BRSMG Uai	Semiereto/Ereto	Ferrugem/Murcha-de-fusário
2	L20/BRS Estilo	Semiereto/Ereto	Ferrugem/Ferrugem
3	L20/VC12	Semiereto/ -	Ferrugem/Ferrugem
4	L20/CNFC 10720	Semiereto/Ereto	Ferrugem/Mofo-branco
5	L20/MAI1813	Semiereto/ -	Ferrugem/Mancha-angular
6	L20/VC16	Semiereto/Semiereto	Ferrugem/Mancha-angular
7	Xamego/ BRSMG Uai	Ereto/Ereto	Murcha-de-fusário/Murcha-de- fusário
8	Xamego/BRS Estilo	Ereto/Ereto	Murcha-de-fusário/Ferrugem
9	Xamego/CNFC 10720	Ereto/Ereto	Murcha-de-fusário/Mofo-branco
10	Xamego/MAI1813	Ereto/ -	Murcha-de-fusário/Mancha-angular
11	Xamego/VC16	Ereto/Semiereto	Murcha-de-fusário/Mancha-angular
12	TB 9401/BRSMG Uai	Ereto/Ereto	- /Murcha-de-fusário
13	TB 9401/BRS Estilo	Ereto/Ereto	- /Ferrugem
14	TB 9401/CNFC 10720	Ereto/Ereto	- /Mofo-branco
15	TB 9401/MAI1813	Ereto/ -	- /Mancha-angular
16	BRS Valente/BRSMG Uai	Ereto/Ereto	Anthracnose/Murcha-de-fusário
17	BRS Valente/BRS Estilo	Ereto/Ereto	Antracnose/Ferrugem
18	BRS Valente/CNFC 10720	Ereto/Ereto	Antracnose/Mofo-branco
19	BRS Valente/MAI1813	Ereto/ -	Antracnose/Mancha-angular
20	BRS Valente/VC16	Ereto/Semiereto	Antracnose/Mancha-angular

4.1 Avaliação de linhagens derivadas do ciclo zero (C_0)

Inicialmente foram avaliadas 395 linhagens derivadas das melhores famílias do ciclo C_0 do Programa de Seleção Recorrente. As famílias utilizadas para derivação das linhagens foram selecionadas com base em experimentos conduzidos por Paula (2016), cujo objetivo foi identificar as melhores famílias derivadas de populações F_3 do ciclo C_0 (Tabela 2) para extração de linhagens.

As 395 linhagens e as testemunhas Ouro Negro, BRS Esteio, IPR Tiziu, BRS Valente e VP22 foram avaliadas na safra da seca de 2018, na Estação Experimental da Universidade Federal de Viçosa em Coimbra, MG (20º45’ S e 42º51’ W, 690 m de altitude). Foi utilizado o delineamento em látice quadrado 20 x 20, com duas repetições e parcelas de uma linha de um metro. As características avaliadas foram produtividade de grãos, arquitetura de planta e aspecto comercial de grãos.

A arquitetura de plantas foi avaliada por meio de escala de notas de 1 a 5, proposta por

Ramalho et al. (1998), em que: 1 - planta ereta com uma haste, poucas ramificações; 2 - planta ereta com algumas ramificações, guia curta; 3 - planta semiprostrada com ramificações, guia mediana; 4 - planta prostrada com ramificações, guia longa; e 5 - planta completamente prostrada com muitas ramificações, guias muito longas. A nota de arquitetura de planta foi atribuída à parcela.

Na avaliação do aspecto de grãos utilizou-se escala de notas variando de 1 a 5, semelhante à usada por Ramalho et al. (1998), em que nota 1 se refere ao grão tipo preto, sem presença de brilho, não achatado e com formato elíptico; nota 2, grão tipo preto com deficiência em uma das características mencionadas no padrão; nota 3, grão tipo preto com deficiência em duas características mencionadas no padrão; nota 4, grão tipo preto com deficiência em três das características mencionadas no padrão; e nota 5, grão fora do padrão preto.

Os dados foram submetidos à análise de variância, segundo o modelo apresentado a seguir, considerando os efeitos da média e dos tratamentos como fixos e os efeitos de blocos e do erro como aleatórios.

$$y_{i\ell(j)} = \mu + t_i + r_j + (b/r)_{\ell(j)} + e_{i\ell(j)}$$

em que:

$y_{i\ell(j)}$: valor observado do tratamento i (i = 1, 2, ... , v = k^2), no bloco incompleto ℓ (ℓ = 1, 2,.., k), da repetição j (j = 1, 2, ... , r);

μ: constante inerente a todas as observações;

t_i: efeito do tratamento i;

r_j: efeito da repetição j;

$(b/r)_{\ell(j)}$: efeito do bloco incompleto ℓ dentro da repetição j;

$e_{i\ell(j)}$: erro aleatório associado à observação $y_{i\ell(j)}$.

As linhagens foram comparadas com as testemunhas utilizando o teste de Dunnett (5%) (CRUZ, 2013).

Adicionalmente, foram calculadas as estimativas para os seguintes parâmetros genéticos:

i) Coeficiente de variação ambiental (CV)

O CV para produtividade de grãos, em porcentagem, foi calculado com a seguinte fórmula:

$$CV = \frac{100 * \sqrt{QMR}}{\bar{X}}$$

sendo QMR o quadrado médio de resíduo obtido nas análises individuais.

Para resultados mais apropriados, devido as diferentes escalas de notas utilizadas para as características arquitetura de planta e aspecto de grãos, o CV destas características foi calculado conforme proposição de Dos Anjos et al. (2019), sendo dado por:

$$CV = \frac{100 * \sqrt{QMR}}{|\bar{X} - \mu|}$$

sendo μ a nota dada ao fenótipo indesejado (maior nota).

ii)Acurácia seletiva

A acurácia seletiva individual para cada ambiente (r_j) foi calculada com a seguinte fórmula:

$$r_j = \left(1 - \frac{1}{F_j}\right)^{0,5}$$

sendo F_j, a razão entre o quadrado médio de cultivares (QMG) e QMR para cada ambiente *j*, obtidos nas análises individuais.

Com base nos dados de produtividade de grãos, arquitetura de planta e aspecto de grãos foram selecionadas linhagens que reuniram atributos favoráveis para os vários caracteres. Para isso foi utilizado o índice multiplicativo (SUBANDI et al., 1973), dado pela expressão:

$$I_{Ei} = \log \prod_{j=1}^{m}(x_{ij} - k_j) = \log[(x_{i1} - k_1)(x_{i2} - k_2)\ldots(x_{in} - k_n)],$$

em que I_{Ei} denota o índice multiplicativo; x_{ij} é a média do caráter j, mensurado no genótipo i; k_j é o menor valor selecionável $k_j = \frac{n(mín.x_{ij}) - máx.x_{ij}}{n-1}$; n é o número de genótipos, e mín. x_{ij} e máx. x_{ij} são, respectivamente, a menor e a maior média do caráter j.

Independentemente do índice, foram incluídos as dez melhores linhagens com base na seleção direta para cada característica.

Com base nas linhagens selecionadas pelo índice multiplicativo foram preditos os ganhos em porcentagem, $GS\,(\%)$, para produtividade de grãos, conforme a seguinte equação:

$$GS\,(\%) = \frac{h^2 * (\bar{X}s - \bar{X}o)}{\bar{X}o} * 100$$

em que: $\bar{X}s$ é a média aritmética da característica das linhagens selecionadas; $\bar{X}o$ é a média aritmética da característica para todas as linhagens e h^2 é a herdabilidade da característica.

Para resultados mais apropriados, devido as diferentes escalas de notas utilizadas para as características arquitetura de planta e aspecto de grãos, o GS (%) destas características foi calculado conforme proposição de Dos Anjos et al. (2019), sendo dado por:

$$GS\ (\%) = \frac{h^2 * (\bar{X}s - \bar{X}o)}{|\bar{X}o - \mu|} * 100$$

sendo μ a nota dada ao fenótipo indesejado (maior nota).

As 164 linhagens selecionadas juntamente com as mesmas cinco testemunhas utilizadas no primeiro experimento foram avaliadas nas safras das águas de 2018 e seca de 2019 na Estação Experimental da Universidade Federal de Viçosa em Coimbra, MG. Foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso com três repetições e parcelas de duas linhas de dois metros. As características avaliadas foram produtividade de grãos, arquitetura de planta e aspecto comercial de grãos.

Os dados obtidos foram submetidos às análises de variância individual e, posteriormente, análise conjunta. Os efeitos de tratamentos e dos ambientes foram considerados como fixos. O modelo estatístico utilizado para a análise conjunta foi o seguinte:

$$Y_{ijk} = \mu + g_i + (b/a)_{jk} + a_j + ga_{ij} + e_{ijk}$$

em que:

Y_{ijk}: valor observado referente ao genótipo i no ambiente j e no bloco k;

μ: média geral do experimento;

g_i: efeito do genótipo i (i = 1, 2,...,169);

$(b/a)_{jk}$: efeito ao bloco k dentro de ambiente j;

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

ga_{ij}: efeito da interação do genótipo i no ambiente j;

e_{ijk}: erro aleatório associado a observação Y_{ijk}.

Para cada variável, as linhagens foram comparadas com as testemunhas utilizando o teste de Dunnett (5%) (CRUZ, 2013). Visando selecionar as melhores linhagens para composição de futuros Ensaios de VCU de feijão preto em Minas Gerais, foi utilizado o índice da distância genótipo-ideótipo adaptado de Carvalho et al. (2002), uma vez que a mesma característica avaliada em mais de um ambiente é considerada como uma característica diferente, sendo assim para todas as características avaliadas.

O índice da distância genótipo-ideótipo fixa um valor ótimo para cada característica, construindo assim um ideótipo. Obtém-se a diferença entre a média de cada característica

e o valor atribuído ao genótipo e, finalmente, calcula-se, para cada genótipo, uma distância em relação a esse ideótipo, sendo essa distância o próprio índice. Assim, tem-se:

X_{ij} = valor fenotípico médio do i-ésimo genótipo em relação à j-ésima característica;

Y_{ij} = valor fenotípico médio transformado;

C_j: = constante relativa à depreciação da média do genótipo, por não estar dentro dos padrões desejados pelo melhorista;

LI_j = limite inferior a ser apresentado pelo genótipo, relativo à característica j, conforme o padrão desejado pelo melhorista;

LS_j = limite superior a ser apresentado pelo genótipo; e

VO_j = valor ótimo a ser apresentado pelo genótipo, sob seleção.

Se $LI_j \leq X_{ij} \leq LS_j$, então $Y_{ij} = X_{ij}$.

Se $X_{ij} < LI_j$, $Y_{ij} = X_{ij} + VO_j - LI_j - C_j$.

Se $X_{ij} > LS_j$, $Y_{ij} = X_{ij} + VO_j - LS_j + C_j$.

No procedimento é considerado $C_j = LS_j - LI_j$. O valor C_j garante que qualquer valor de X_{ij} dentro do intervalo de variação em torno do ótimo resultará em um valor Y_{ij} com magnitude próxima do valor ótimo (VO_j), ao contrário dos valores de X_{ij} fora desse intervalo. Assim, a transformação de X_{ij} é realizada para garantir a depreciação dos valores fenotípicos fora do intervalo considerado ótimo do padrão a ser apresentado pelo genótipo que será selecionado.

Na definição do ideótipo, optou-se por considerar como valor ótimo a maior média observada, no caso do caráter produtividade de grãos. Em relação à arquitetura de planta e ao aspecto de grãos, adotou-se como valor ótimo o menor valor médio observado.

Foram estabelecidos pesos econômicos iguais para todas as características avaliadas. Foram considerados como intervalo de valores favoráveis para o melhoramento do feijoeiro os maiores e menores valores médios obtidos em cada ambiente de cada característica (Tabela 3).

Tabela 3. Peso, valor ótimo, limites inferior e superior das médias no estabelecimento do índice genótipo-ideótipo para seleção das melhores linhagens.

Safras	Peso	Valor ótimo	Limite Inferior	Limite superior
Produtividade				
Águas 2018	1	5168	1747	5168
Seca 2019	1	2478	1296	2478
Aspecto de grãos				
Águas 2018	1	1,83	1,83	3,25
Seca 2019	1	1,58	1,58	2,50
Arquitetura de planta				
Seca 2019	1	1,66	1,66	3,16

Os ganhos diretos obtidos pela seleção para os caracteres produtividade de grãos, arquitetura de planta e aspecto de grãos, praticado em cada ambiente foram estimados pela expressão:

$$GS_i = h_i^2 * DS_i$$

em que GS_i é o ganho com a seleção direta praticada na característica i; h_i^2 é a herdabilidade da característica i e DS_i é o diferencial de seleção com base nos genótipos de melhor desempenho para a característica i. Os ganhos obtidos com a resposta indireta à seleção foram calculados por meio da fórmula:

$$GS_{i(j)} = h_i^2 * DS_{i(j)}$$

em que $GS_{i(j)}$ é o ganho na característica i, com a seleção baseada na característica j; $DS_{i(j)}$é o diferencial de seleção da característica i, no qual os genótipos selecionados são o de melhor desempenho para a característica j. Em todos os casos, a intensidade de seleção utilizada foi de 20%.

Com base nas linhagens selecionadas pelo índice genótipo-ideótipo foram preditos os ganhos de seleção em porcentagem, praticado em cada ambiente para as características produtividade de grãos, aspecto de grãos e arquitetura de planta conforme as equações já citadas anteriormente.

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

4.2 Predição do potencial de populações F_3 do ciclo um (C_1)

A população do ciclo C_1 foi constituída por 20 cruzamentos triplos (Tabela 4), envolvendo as 20 melhores famílias do ciclo C_0 selecionadas por Paula (2016) e dez novas cultivares comerciais (IPR Tuiuiú, IPR Tiziu, BRS Esteio, BRS Esplendor, BRS Supremo, IAC Diplomata, Milionário 1732, IPR Uirapuru, IPR Inhambu e Ouro da Mata). Na recombinação, cada cultivar foi cruzada com duas famílias das 20 selecionadas no ciclo C_0.

As 20 populações F_3 do ciclo C_1 foram avaliadas na safra das águas de 2018 utilizando o delineamento de blocos ao acaso com três repetições e parcelas constituídas por quatro linhas de quatro metros. Como testemunhas foram utilizadas Ouro Negro, BRS Esteio, VP22, BRS Valente e IPR Uirapuru. Foram avaliados a produtividade grãos e arquitetura de planta com base em uma das linhas centrais da parcela.

Tabela 4. Genealogia das populações F_3 pertencentes ao ciclo um (C_1) do Programa de Seleção Recorrente de feijão preto.

Genealogia	Populações
L20/BRSMG Uai//IPR Tuiuiú	1
L20/BRS Estilo//IPR Tiziu	2
L20/VC12//BRS Esteio	3
L20/CNFC 10720//BRS Esplendor	4
L20/MAI1813//BRS Supremo	5
L20/VC16//IAC Diplomata	6
Xamego/BRSMG Uai//Milionário 1732	7
Xamego/BRS Estilo//IPR Uirapuru	8
Xamego/CNFC 10720//IPR Inhambu	9
Xamego/MAI1813//VR20	10
Xamego/VC16//IPR Tuiuiú	11
BRS Expedito/BRSMG Uaí//IPR Tiziu	12
BRS Expedito/BRS Estilo//BRS Esteio	13
BRS Expedito/CNFC 10720//BRS Esplendor	14
BRS Expedito/MAI1813//BRS Supremo	15
BRS Valente/BRSMG Uai//IAC Diplomata	16
BRS Valente/BRS Estilo//Milionário 1732	17
BRS Valente/CNFC 10720//IPR Uirapuru	18
BRS Valente/MAI1813//IPR Inhambu	19
BRS Valente/VC16//VR20	20

Além dos dados referidos acima, foram tomados dados de produção e diâmetro do hipocótilo em uma amostra de aproximadamente 40 plantas colhidas em uma das linhas centrais da parcela. O diâmetro do hipocótilo foi medido um centímetro abaixo do nó cotiledonar, por meio de um paquímetro digital.

Os dados de produtividade de grãos e arquitetura de planta foram submetidos à análise de variância, segundo o modelo apresentado a seguir, considerando o efeito da média como fixo, e os efeitos dos tratamentos, blocos e do erro como aleatórios.

$$Y_{ij} = \mu + g_i + b_j + e_{ij}$$

onde:

Y_{ij}: observação referente à *i-ésimo* genótipo (i = 1, 2, ..., 20), no *j-ésimo* bloco (j= 1, 2, 3);

μ: média geral do experimento;

g_i: efeito do genótipo i;

b_j: efeito do bloco j;

e_{ij}: erro aleatório associado a observação Y_{ij}.

Na predição do potencial das populações segregantes, com vistas à extração de linhagens superiores, foi utilizada a metodologia de Jinks e Pooni (1976), a qual baseia-se nas estimativas de médias e variâncias de cada população com base em dados tomados de plantas individuais dentro de cada parcela. Na metodologia de Jinks e Pooni, os valores fenotípicos de características quantitativas em linhagens F∞, oriundas de cruzamentos biparentais homozigóticos, seguem uma distribuição normal. Assim, é possível estimar a probabilidade de obter linhagens que superem um determinado padrão em F∞, baseando-se na média e variância das populações segregantes.

Nesse procedimento, a variância genética ($\hat{\sigma}^2_G$) de uma dada população 'i' é estimada pela seguinte expressão:

$$\hat{\sigma}^2_{G_i} = \hat{\sigma}^2_{F_i} - \hat{\sigma}^2_E$$

em que $\hat{\sigma}^2_{G_i}$ é a variância genética presente na população i; $\hat{\sigma}^2_{F_i}$ é a variância fenotípica observada na população i, obtida pela média aritmética das variâncias dos tratamentos nas três repetições; e $\hat{\sigma}^2_E$ é a variância ambiental, obtida pela média aritmética da variância fenotípica de uma ou mais linhagens presentes no experimento. Neste caso utilizou-se a cultivar de feijão preto BRS Esteio. Considerou-se que a variância ambiental dentro de populações é semelhante à variância ambiental entre plantas dentro das testemunhas.

A probabilidade de extração de linhagens superiores de cada população, com base nessa metodologia, corresponde à área à direita de determinado valor positivo de μ, na abscissa da distribuição normal. Tal área é calculada utilizando as propriedades de uma distribuição normal padronizada, sendo estimada pela estatística Z, dada pela expressão:

$$Z = \frac{\mu - F_{ni}}{Si}$$

em que μ corresponde à média considerada padrão de cada caráter, que, neste trabalho, foi a média da linhagem BRS Esteio acrescida de 20%, para produção de grãos e para diâmetro do hipocótilo. F_{ni} é a média das plantas de cada população F_3, para cada característica, que, em um modelo sem dominância, corresponde à média de todas as possíveis linhagens na geração F∞, desde que conduzidas sem seleção. Si é a estimativa do desvio-padrão fenotípico entre as linhagens da geração F∞, estimado pela equação:

$$Si = \sqrt{1{,}33\sigma^2_{F3} - 0{,}33\sigma^2_e}$$

Tendo em vista o nível de endogamia das plantas analisadas (geração F_3), considerou-se que 66,6% da variabilidade genética total era procedente da variabilidade entre populações, restando 33,3% para a variabilidade dentro de populações.

Utilizou-se o teste de Dunnett (5%) para comparar as populações com as cultivares comercias Ouro Negro, BRS Esteio, VP22, BRS Valente e IPR Uiarapuru, utilizadas como testemunhas (CRUZ, 2013).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Avaliação de linhagens do ciclo C_0

Na Tabela 5 são apresentados os resultados das análises de variância individuais referentes à avaliação de 395 linhagens derivadas das melhores famílias do ciclo C_0 do Programa de Seleção Recorrente da UFV visando o melhoramento de feijão preto. A média de produtividade de grãos do experimento foi de 3583 kg ha^{-1} (Tabela 5), portanto acima da média de produtividade de feijão irrigado. Médias de produtividade desta magnitude só são obtidas em lavouras conduzidas em sistemas de produção altamente tecnificados.

Verificou-se boa precisão experimental, conforme pode-se observar pelos coeficientes de variação experimental (CV): 16,4% para produtividade de grãos, 6,0% para aspecto de grãos e 22,0% para arquitetura de planta (Tabela 5). Tais estimativas estão de acordo com os valores relatados na literatura para experimentos desta natureza com a cultura do feijoeiro (MARQUES JÚNIOR et al., 1997). Para avaliação de linhagens elites de feijão nos Ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) são aceitáveis CV de até 25% (BRASIL, 2006). A precisão experimental é de suma importância para a confiabilidade dos resultados obtidos. Sabe-se que, quanto menor o erro experimental, maiores são as chances de se detectar diferenças significativas entre os tratamentos (ALVES, 2012).

Tabela 5. Resumo das análises de variância individuais da produtividade de grãos, em kg ha^{-1} (PROD), aspecto de grãos (AG) e arquitetura de planta (ARQ), referentes à avaliação de linhagens de feijão preto do ciclo 0 (C_0), na safra da seca de 2018. Coimbra, MG.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio		
		PROD	AG	ARQ
Tratamentos	399	813861,28 **	0,09 **	0,52 **
Linhagens (L)	394	813122,78 **	0,09 **	0,52 **
Testemunhas (T)	4	358746,24 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,71 **
L vs. T	1	2925290,45 **	0,0025 ^{ns}	1,14 *
Erro	361	344051,53	0,03	0,21
Média Geral		3583	1,97	2,94
Média (L)		3576	1,97	2,93
Média (T)		4121	1,95	3,28
CV (%)		16,4	6,0	22,0
Acurácia		0,76	0,80	0,78
Eficiência do látice		118,7	-	-

^{ns},** e *: não significativo, significativos, a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Outra estimativa que tem sido apresentada em experimentação é a acurácia seletiva, sendo esta também uma medida de avaliação da qualidade experimental (RESENDE; DUARTE, 2007). A acurácia indica aqueles experimentos favoráveis a seleção, por estar associada aos valores de variabilidade genética e residual. Para que experimentos apresentem valores de acurácia elevados, estes devem ter variabilidade genética para discriminação dos genótipos e baixa variação residual, afim de se obter resultados mais confiáveis (SOUZA, 2019). Os valores de acurácia encontrados foram de 0,76 para produtividade de grãos, 0,80 para aspecto de grãos e 0,78 para arquitetura de planta (Tabela 5). De acordo com a classificação de Resende e Duarte (2007), valores de 0,5 a 0,69 indicam acurácia moderara, 0,7 a 0,89 alta e acima de 0,9 indicam acurácia muito alta. Desta forma, os valores obtidos no experimento são consideradas de alta magnitude, indicando boa precisão experimental.

Observou-se efeito significativo ($p<0,01$) para a fonte de variação linhagens sobre todas as características avaliadas, indicando variabilidade entre as médias das linhagens em estudo (Tabela 5). A existência de variabilidade é fundamental para o sucesso na seleção. O contraste linhagens vs. testemunhas foi significativo para produtividade de grãos e para arquitetura de planta. Já para aspecto de grão não houve efeito significativo do contraste.

Para seleção das melhores linhagens a serem avaliadas na geração seguinte foi utilizado o índice multiplicativo, que levou em conta todos os caracteres avaliados no experimento (produtividade de grãos, arquitetura de planta e aspecto de grãos). Foi atribuído um ponto de corte para cada característica. Para produtividade de grãos, acima de 3583,2 kg ha^{-1}; para aspecto de grãos, nota inferior a 2,6 e para arquitetura de planta, nota inferior a 3,5. Quando se usa o índice multiplicativo, não há a necessidade de se estabelecer pesos econômicos ou ganhos desejáveis, resultando na praticidade e simplicidade do uso desta estratégia de seleção (SUBANDI et al., 1973).

O desempenho das 155 linhagens selecionadas pelo índice é apresentado no APÊNDICE A. As linhagens selecionadas não diferiram das testemunhas de maior potencial de produção, como Ouro Negro (4559 kg ha^{-1}) e BRS Esteio (4085 kg ha^{-1}). Entretanto, algumas linhagens obtiveram produtividade acima de 5000 kg ha^{-1}. Vale salientar que Ouro Negro e BRS Esteio são cultivares recomendadas para o estado de Minas Gerais.

Quanto ao aspecto de grãos, pode-se afirmar que as linhagens não deixam a desejar quanto a essa característica, pois as médias das linhagens selecionadas situaram-se abaixo de 2,6 numa escala de 1 a 5, caracterizando boa qualidade de grãos (APÊNDICE A). No que se refere à arquitetura de planta, entre as linhagens selecionadas, 53 apresentaram comportamento diferencial em relação a cultivar Ouro Negro, que apesar de muito produtiva não apresenta bom

porte de planta, sendo considerada prostrada. De modo geral, as linhagens não diferiram de testemunhas consideradas de arquitetura ereta como BRS Esteio e BRS Valente. Vale salientar que para aspectos de grãos e arquitetura de planta as menores notas indicam plantas com melhor aspecto comercial de grãos e de porte mais ereto.

De posse dos dados das 155 linhagens selecionadas pelo índice multiplicativo para os caracteres produtividade de grãos, aspecto de grãos e arquitetura de planta, foram obtidas estimativas dos ganhos preditos para cada variável. Observou-se ganhos com a seleção para todos os caracteres avaliados. As estimativas dos ganhos preditos foram de 8,0% para produtividade de grãos, 0,5% para aspecto de grãos e 0,3% para arquitetura de planta (Tabela 6).

Tabela 6. Estimativas dos ganhos preditos (GS) obtidos pela seleção de 155 linhagens pelo índice multiplicativo em relação à produtividade de grãos, em kg ha^{-1} (PROD), aspecto de grãos (AG) e arquitetura de planta (ARQ), na safra da seca de 2018. Coimbra, MG.

		Xo	Xs	h² %	GS	GS %
Seca/18	**PROD**	3576	4070	57,7	284,48	8,0
	AG	1,97	1,94	63,9	-0,02	0,5
	ARQ	2,93	2,93	60,2	-0,01	0,3

X_0 = média das linhagens; Xs = médias das linhagens selecionadas; h^2 % = herdabilidade em porcentagem; GS = ganho por seleção; e GS % = ganho por seleção em porcentagem.

Utilizando o índice multiplicativo, foi possível obter estimativas de ganhos equilibrados para todos os caracteres avaliados, o que atende aos propósitos do melhoramento. Além disso, o índice foi eficiente ao selecionar linhagens que apresentam bom desempenho e potencial para superar os genótipos em cultivo (APÊNCICE A).

A seguir são apresentados os resultados da avaliação de 164 linhagens selecionadas com base no experimento anterior. Destas, 155 foram selecionadas através do índice multiplicativo (APÊNCICE A) e as demais pelo desempenho *per se* com base em cada variável. As 164 linhagens e as mesmas cinco testemunhas utilizadas no primeiro experimento (safra da seca de 2018) foram avaliadas nas safras das águas de 2018 e seca de 2019.

De modo geral, também constatou-se boa precisão experimental, conforme pode-se observar pelos valores de CV e de acurácia apresentados na Tabela 7. Todos os CV´s situaram-se abaixo de 14,0%, exceto para produtividade de grãos na safra das águas de 2018, que foi de 21,0%. Os valores de acurácia, independente da variável, foram superiores a 0,70, considerados de alta magnitude, indicando a possibilidade de se obter ganhos com a seleção. Tais estimativas

corroboram com os valores relatados na literatura (MARQUES JÚNIOR et al., 1997; RESENDE; DUARTE, 2007), conforme já citado anteriormente.

Tabela 7. Resumo das análises de variância individuais da produtividade de grãos, em kg ha^{-1} (PROD), aspecto de grãos (AG) e arquitetura de planta (ARQ) referentes à avaliação de linhagens de feijão preto do ciclo 0 (C_0), nas safras das águas 2018 e seca de 2019. Coimbra, MG.

		Águas 2018		
		Quadrado Médio		
Fonte de Variação	GL	PROD	AG	
Tratamentos	168	1536785,06 **	0,169 **	
Linhagens (L)	163	1542716,91 **	0,169 **	
Testemunhas (T)	4	1675954,79 **	0,229 **	
L vs. T	1	13214,48 ns	0,053 ns	
Resíduo	336	398454,12	0,066	
Média Geral		3009	2,31	
Média (L)		3008	2,31	
Média (T)		3038	2,25	
CV (%)		21,0	9,6	
Acurácia		0,86	0,78	
		Seca 2019		
		Quadrado Médio		
Fonte de Variação	GL	PROD	AG	ARQ
Tratamentos	168	169673,20 **	0,108 **	0,182 **
Linhagens (L)	163	169685,38 **	0,105 **	0,180 **
Testemunhas (T)	4	133636,85 ns	0,223 **	0,183 ns
L vs. T	1	311833,92*	0,124 ns	0,578 **
Resíduo	336	61705,69	0,048	0,085
Média Geral		1898	2,07	2,52
Média (L)		1902	2,08	2,52
Média (T)		1756	1,98	2,72
CV (%)		13,1	7,5	12,8
Acurácia		0,80	0,75	0,73

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

A média de produtividade de grãos das linhagens foi de 3008 kg ha^{-1} na safra das águas de 2018 e 1902 kg ha^{-1} na safra da seca de 2019. Vale ressaltar que na safra da seca, a ocorrência de mofo branco na área experimental pode ter contribuído para a redução da produtividade do feijoeiro. Segundo Paula Júnior et al., (2006), o mofo branco é a doença do feijoeiro mais destrutiva nas áreas irrigadas do Brasil, com perdas elevadas nos últimos anos.

Verificou-se efeito significativo (p<0,01) entre linhagens sobre todos os caracteres avaliados nas duas safras (Tabela 7), evidenciando variabilidade entre as médias das linhagens. Esses resultados indicam a possibilidade de seleção de linhagens que reúnam fenótipos favoráveis para os caracteres de maior interesse no melhoramento do feijoeiro.

As interações linhagens x ambientes foram significativas (p<0,01) para as caraterísticas produtividade de grãos e aspecto de grãos (Tabela 8), indicando que as linhagens apresentam comportamento inconsistente nas diferentes safras. Esse resultado demonstra a necessidade de avaliar as linhagens em diferentes ambientes (safras, anos e locais), quando o objetivo é identificar linhagens promissoras para cultivo em uma determinada região. Na existência de interação, há possibilidade de o melhor genótipo em um ambiente não ser em outro. Esse fato influencia o ganho de seleção e dificulta a recomendação de cultivares com ampla adaptabilidade (CRUZ et al., 2012). No caso do feijoeiro, que é cultivado em até três safras por ano, é necessário que as cultivares recomendadas sejam adaptadas as diferentes condições de cultivo (OLIVEIRA, 2012; BEM, 2012).

Tabela 8. Resumo das análises de variância conjuntas da produtividade de grãos, em kg ha^{-1} (PROD) e aspecto de grãos (AG) referentes à avaliação de linhagens de feijão preto do ciclo 0 (C_0), nas safras das águas 2018 e seca de 2019. Coimbra, MG.

		Quadrado Médio	
Fonte de Variação	GL	PROD	AG
Ambientes (A)	1	313076825,169 **	14,083 **
Tratamentos	168	974390,100 **	0,185 **
Linhagens (L)	163	980841,666 **	0,180 **
Testemunhas (T)	4	930503,507 **	0,398 **
L vs. T	1	98331,337 ^{ns}	0,170 ^{ns}
T x A	168	732068,164 **	0,092 **
L x A	163	731560,625 **	0,093 **
Te x A	4	879088,132 **	0,054 ^{ns}
L vs. Te x A	1	226717,070 ^{ns}	0,007 ^{ns}
Resíduo	672	230079,901	0,057
Média Geral		2454	2,19
Média (L)		2455	2,19
Média (T)		2397	2,12
CV (%)		19,6	8,5
Acurácia		0,87	0,83

^{ns},** e *: não significativo, significativos, a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

No presente estudo, as linhagens foram avaliadas em apenas dois ambientes, entretanto aqui o objetivo não é identificar linhagens para recomendação como cultivar e sim para participar dos futuros Ensaios de VCU no Estado de Minas Gerais.

Na Tabela 9 são apresentadas as estimativas de ganhos diretos e indiretos em cada ambiente de avaliação, quanto aos caracteres produtividade de grãos, aspecto de grãos e arquitetura de planta.

Tabela 9. Estimativas de ganhos diretos e indiretos, considerando uma intensidade de seleção de 20%, em relação à produtividade de grãos, em kg ha^{-1} (PROD), aspecto de grãos (AG) e arquitetura de planta (ARQ), nas safras das águas 2018 e da seca 2019. Coimbra, MG.

		GS (%)				
		Águas/18		**Seca/19**		
Seleção		**PROD**	**AG**	**PROD**	**AG**	**ARQ**
Águas/18	**PROD**	**28,2**	-0,3	2,9	-0,05	3,3
	AG	-1,2	**6,6**	2,2	2,1	-0,9
Seca/19	**PROD**	6,5	0,3	**11,3**	-0,1	0,9
	AG	0,02	2,8	0,9	**4,6**	-0,2
	ARQ	10,3	0,4	2,0	-0,6	**7,5**

Valores dos ganhos diretos são apresentados na diagonal da tabela.

Conforme já esperado, pode-se observar que nenhum ganho indireto superou os ganhos diretos (Tabela 9). Em relação a produtividade de grãos, selecionando-se com base na safra das águas de 2018, o ganho direto obtido foi de 28,2%, porém os ganhos indiretos não foram satisfatórios para aspecto de grãos, com perda de 0,3% e 0,05% na safra das águas e da seca, respectivamente. Para a característica arquitetura de planta, a seleção proporcionou ganhos de 3,3%, possibilitando a redução da média da característica e para produtividade na safra da seca o ganho foi apenas de 2,9%. Da mesma maneira, na safra da seca de 2018, as respostas foram pouco satisfatórias comparadas ao ganho direto, cujo valor foi de 11,3% para produtividade de grãos. Observou-se perda de 0,1% para aspecto de grãos na safra da seca e ganhos de 0,3% para aspecto de grãos e 6,5% para produtividade, na safra das águas e 0,9% para arquitetura de planta na safra da seca.

A seleção com base em uma determinada característica em um ambiente (águas de 2018) e resposta em outro (seca de 2019), ou vice-versa, não proporcionou resultados expressivos comparados à seleção direta (Tabela 9). A seleção univariada baseada em qualquer uma das características não proporcionou grandes ganhos em sentido e magnitude desejados para as

demais características. Assim, a utilização de um índice multivariado de seleção seria o mais indicado para se obter ganhos mais equilibrados.

Em função da interação genótipos x ambientes, a utilização de métodos que levem em conta o comportamento dos genótipos nos diferentes ambientes pode contribuir para aumentar a eficiência da seleção. A seleção com base em uma ou em poucas características tem se mostrado inadequada por conduzir a um produto final que não apresenta desempenho superior para aqueles caracteres não considerados na prática da seleção. A utilização de índices é uma estratégia que permite combinar os caracteres avaliados nos diferentes ambientes, como é o caso do índice da distância genótipo-ideótipo (CARVALHO et al., 2002). Com base neste índice e considerando uma intensidade de seleção de 20%, 33 linhagens foram classificadas como as que mais se aproximaram do ideótipo em relação a produtividade de grãos, aspecto de grãos e arquitetura de planta (Tabela 10).

Em geral, as linhagens selecionadas de acordo com o índice genótipo-ideótipo apresentaram boa produtividade de grãos (Tabela 10). A maior média de produtividade, entre as linhagens, foi de 5168 kg ha^{-1} na safra das águas e 2478 kg ha^{-1} na safra da seca. Com exceção da linhagem 157 na safra das águas, as produtividades das linhagens não diferiram da cultivar BRS Esteio, cuja média de produtividade foi a maior entre as testemunhas tanto na safra das águas (4040 kg ha^{-1}), quanto na safra da seca (2009 kg ha^{-1}).

Em relação à qualidade de grãos verificou-se, de modo geral, que as linhagens não diferiram das testemunhas quanto ao aspecto de grãos. As médias das notas de aspecto de grãos foram menores que 2,6, numa escala de 1 a 5, sendo que a nota 1 atribuída ao fenótipo mais favorável. Das 33 linhagens selecionadas segundo o índice, 29 se equipararam ao cultivar Ouro Negro para essa característica (Tabela 10). Apenas três linhagens foram inferiores a essa testemunha, considerada referência quanto ao aspecto de grãos (OLIVEIRA, 2012).

Quanto à arquitetura de planta, as linhagens selecionadas apresentaram desempenho satisfatório, com notas, abaixo de 2,7, não diferindo de testemunhas consideradas padrão para arquitetura ereta de planta como BRS Esteio e BRS Valente (Tabela 10). Neste caso, quanto menor a nota de arquitetura de planta, maior é a possibilidade de sucesso de um cultivar, por exemplo, na colheita mecanizada. A linhagem 144 foi superior a todas as linhagens e testemunhas se destacando quanto à arquitetura de planta.

Tabela 10. Médias de produtividade de grãos, em kg ha^{-1} (PROD), aspecto de grãos (AG) e arquitetura de planta (ARQ), das 33 linhagens classificadas segundo o índice genótipo-ideótipo. Safras das águas de 2018 e da seca de 2019. Coimbra, MG.

Linhagens	PROD		AG		ARQ
	Águas 2018	Seca 2019	Águas 2018	Seca 2019	Seca 2019
116 (1)	4468 a cd	1913 abcde	1,92 abcd	1,83 abcde	1,92 c e
144 (2)	4730 a d	1742 abcde	2,17 abcde	2,00 abcde	1,67
12 (3)	3993 abcd	2352 a e	2,17 abcde	1,92 abcde	2,42 abcde
34 (4)	3891 abcd	1747 abcde	1,83 abcd	1,75 abcde	2,17 abc e
117 (5)	3033 abcde	1941 abcde	2,17 abcde	1,83 abcde	1,92 c e
48 (6)	4282 a cd	1714 abcde	2,25 abcde	1,83 abcde	2,08 abc e
14 (7)	3862 abcd	2258 abc e	2,08 abcde	1,75 abcde	2,58 abcde
52 (8)	3477 abcde	2062 abc e	2,42 abcde	2,00 abcde	1,92 c e
103 (9)	3798 abcd	2119 abc e	2,08 abcde	2,08 abcde	2,33 abc e
61 (10)	2919 abcde	2263 abc e	2,17 abcde	1,92 abcde	2,25 abc e
102 (11)	4930 a	2244 abc e	2,42 abcde	2,08 abcde	2,33 abc e
13 (12)	5168 a	1982 abcde	2,17 abcde	2,00 abcde	2,50 abcde
157 (13)	2341 bcde	2175 abc e	2,08 abcde	1,75 abcde	2,17 abc e
35 (14)	4326 a cd	2478 a	2,50 abc e	1,75 abcde	2,58 abcde
99 (15)	3709 abcd	2311 ab e	2,25 abcde	2,25 abc e	2,17 abc e
156 (16)	3335 abcde	1907 abcde	2,33 abcde	2,00 abcde	2,08 abc e
8 (17)	3312 abcde	1951 abcde	2,08 abcde	2,00 abcde	2,33 abc e
148 (18)	3350 abcde	1962 abcde	2,17 abcde	1,75 abcde	2,50 abcde
67 (19)	2604 abcde	2067 abc e	2,08 abcde	1,92 abcde	2,25 abc e
150 (20)	3909 abcd	1830 abcde	2,08 abcde	2,08 abcde	2,33 abc e
81 (21)	3025 abcde	2155 abc e	1,92 abcd	1,83 abcde	2,58 abcde
112 (22)	2691 abcde	1869 abcde	2,25 abcde	1,92 abcde	2,00 c e
25 (23)	5158 a	2451 a e	2,58 abc e	2,17 abc e	2,33 abc e
29 (24)	3583 abcde	2323 ab e	2,25 abcde	2,08 abcde	2,50 abcde
23 (25)	4448 a cd	1687 abcde	1,92 abcd	1,75 abcde	2,58 abcde
154 (26)	3812 abcd	1728 abcde	2,25 abcde	2,00 abcde	2,25 abc e
162 (27)	3143 abcde	2269 abc e	1,92 abcd	2,08 abcde	2,50 abcde
111 (28)	2716 abcde	2000 abcde	2,08 abcde	1,92 abcde	2,33 abc e
20 (29)	3036 abcde	2054 abc e	2,17 abcde	1,92 abcde	2,50 abcde
142 (30)	3557 abcde	1960 abcde	2,33 abcde	1,92 abcde	2,50 abcde
75 (31)	3439 abcde	2064 abc e	2,00 abcde	1,92 abcde	2,67 abcde
147 (32)	2714 abcde	2026 abcde	2,00 abcde	1,83 abcde	2,50 abcde
149 (33)	3972 abcd	1949 abcde	2,50 abc e	2,17 abc e	2,17 abc e
BRS Esteio (40)	4040 a	2009 a	2,33 a	1,83 a	2,75 a
VP 22 (127)	2499 b	1745 b	2,17 b	2,08 b	2,75 b
IPR Tiziu (121)	3128 c	1695 c	2,33 c	2,25 c	2,58 c
Ouro Negro (150)	3387 d	1449 d	1,83 d	1,58 d	3,08 d
BRS Valente (133)	2138 e	1881 e	2,58 e	2,17 e	2,42 e

Médias seguidas pela mesma letra da testemunha, na coluna, não diferem estatisticamente da testemunha (Dunnett, 5%). Valores entre parênteses referem-se à classificação das linhagens e testemunhas pelo índice distância genótipo-ideótipo.

Quando se considera as três características avaliadas, a linhagem 116 mostrou-se a mais promissora entre as selecionadas, pois apresentou altas médias de produtividades de grãos nas duas safras além de excelente desempenho em relação ao aspecto de grãos e arquitetura de planta, com notas abaixo de 2,0 (Tabela 10).

Em relação as testemunhas, a mais bem classificada de acordo com o índice foi a cultivar BRS Esteio, na 40° colocação (APÊNDICE B), seguida pela cultivar IPR Tiziu (121°), VP22 (127°), BRS Valente (133°). A testemunha que apresentou a pior colocação foi a cultivar Ouro Negro (150°), pois apesar de apresentar ótimo aspecto de grãos e boa produtividade, não apresenta boa arquitetura de planta.

Como alguns índices multivariados não contemplam a seleção em mais de um ambiente, foi utilizado o índice genótipo-ideótipo considerando cada variável avaliada em diferentes ambientes como variáveis diferentes. Na tabela 11 são apresentadas as estimativas dos ganhos preditos para cada variável com base no índice genótipo-ideótipo, considerando uma intensidade de seleção de 20%.

Tabela 11. Estimativas dos ganhos preditos (GS), considerando uma intensidade de seleção de 20% pelo índice genótipo-ideótipo, em relação à produtividade de grãos, em kg ha^{-1} (PROD), aspecto de grãos (AG) e arquitetura de planta (ARQ), nas safras das águas 2018 e da seca 2019. Coimbra, MG.

		X_o	X_s	h^2 %	GS	GS %
Águas/18	**PROD**	3008	3659	74,2	482,23	16,0
	AG	2,31	2,17	60,7	-0.09	3,2
Seca/19	**PROD**	1902	2047	63,6	92,19	4,8
	AG	2,08	1,94	54,3	-0,07	2,5
	ARQ	2,52	2,3	52,6	-0,11	4,6

X_0 = média das linhagens; Xs = médias das linhagens selecionadas; h^2 % = herdabilidade em porcentagem; GS = ganho por seleção; e GS % = ganho por seleção em porcentagem.

As estimativas de ganhos preditos foram de 16,0% e 4,8% para produtividade de grãos e de 3,2% e 2,5% para aspecto de grãos, nas safras das águas de 2018 e da seca de 2019, respectivamente (Tabela 11). Para arquitetura de planta, avaliada apenas na safra da seca, o ganho foi de 4,6%. O índice de seleção da distância genótipo-ideótipo permitiu ganhos para todos os caracteres, em todos os ambientes, sendo esta uma ferramenta promissora para fins de seleção de linhagens, podendo ser utilizada de modo a considerar vários ambientes de avaliação.

Assim, como no índice multiplicativo, utilizado na seleção de linhagens no experimento da safra da seca de 2018 (Tabela 6), esses resultados indicam a eficiência do índice genótipo-ideótipo em proporcionar ganhos equilibrados para os três caracteres sob seleção mesmo na presença de interação genótipos x ambientes, bem como o elevado potencial das linhagens candidatas a futuros ensaios de VCU em Minas Gerais.

Apesar das linhagens apresentarem bom comportamento, ainda há potencial a ser explorado no melhoramento para estas características, na busca de cultivares com arquitetura ereta de planta, visando a colheita mecanizada, e grãos com aspecto e qualidade conforme o padrão comercial, para atender às exigências do mercado consumidor.

5.2 Avaliação das populações F_3 do ciclo um (C_1)

As estimativas dos CV's para os caracteres produtividade de grãos e arquitetura de planta, situaram-se abaixo de 21,0%, caracterizando uma boa precisão experimental (Tabela 12). Estes valores estão de acordo com os encontrados na literatura para experimentos dessa natureza com a cultura do feijoeiro (MARQUES JÚNIOR et al., 1997). Tais estimativas são inferiores ao CV máximo exigido pelo Ministério da Agricultura para os ensaios de VCU de feijoeiro visando à recomendação de cultivares (BRASIL, 2006).

Observou-se valores de acurácia de 0,86 para o caráter produtividade de grãos e 0,88 para arquitetura de planta (Tabela 12). De acordo com o trabalho de Resende e Duarte (2007) estes valores classificam os experimentos na classe de precisão alta (acurácia $\geq$ 0,70). Deste modo, apontam o potencial dessas populações para extração de linhagens superiores.

A alta magnitude dos valores da acurácia das populações respalda as altas estimativas de herdabilidade entre populações para ambas as características, 71,6% para produtividade de grãos e 63,6% para arquitetura de planta (Tabela 12), indicando a possibilidade de sucesso com a seleção das melhores populações segregantes.

De modo geral, as populações apresentaram alta média de produtividade de grãos (2550 kg ha^{-1}), valor similar as testemunhas (2562 kg ha^{-1}), cultivares que apresentam boas características agronômicas como alto potencial produtivo, além de serem muito cultivadas no Brasil (Tabela 12). Produtividades desta magnitude são obtidas em áreas onde predomina a produção irrigada, como no estado de Goiás, Rio Grande do Sul e Distrito Federal, na qual favorece melhor desempenho da cultura (CONAB, 2019). A nota média de arquitetura de planta das populações foi inferior a 3,0, em uma escala de 1 a 5, valor inferior à média das testemunhas, ou seja, as populações apresentam plantas de melhor porte.

Tabela 12. Resumo das análises de variância individuais da produtividade de grãos, em kg ha^{-1} (PROD) e arquitetura de planta (ARQ), referentes à avaliação de 20 populações F_3 do ciclo um (C_1), na safra das águas de 2018. Coimbra, MG.

Fonte de Variação	GL	Quadrados médios	
		PROD	ARQ
Tratamentos	24	421790,69**	0,83**
Populações	19	389879,31**	0,50**
Testemunhas	4	678401,99**	2,15**
Populações *vs.* Testemunhas	1	1661,69 ^{ns}	1,76**
Resíduo	48	110650,53	0,18
Média geral		2553	2,96
Média das populações		2550	2,88
Média das testemunhas		2562	3,27
CV (%)		13,0	20,9
h^2 (%)		71,6	63,6
Acurácia		0,86	0,88

^{ns},** e *: não significativo, significativos, a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Com base nas análises de variância (Tabela 12), verificou-se efeito significativo ($p<0,01$) de populações sobre produtividade de grãos e arquitetura de planta. Isso evidencia a presença de variabilidade genética entre as populações, podendo assim, identificar populações mais promissoras para seleção. Em média, as populações superaram as testemunhas quanto à arquitetura de planta, conforme pode-se observar pela significância do contraste populações vs. testemunhas. A maioria das populações apresentaram melhor arquitetura de planta que a cultivara Ouro Negro (Tabela 13). Das 20 populações avaliadas, cinco se destacaram quanto à arquitetura de planta, superando a cultivar BRS Esteio nesse atributo, cultivar essa com arquitetura favorável para colheita mecânica.

Quanto à produtividade de grãos, a média das populações se equiparou à média das testemunhas (Tabela 12). Vale salientar que as testemunhas utilizadas são cultivares recomendadas, portanto apresentam alto potencial de produção. Entretanto, algumas populações se destacaram quanto à produtividade de grãos (Tabela 13). A população 14 apresentou a maior média (3231 kg ha^{-1}). Dentre as populações avaliadas, onze equipararam-se ao cultivar Ouro Negro, testemunha de maior média (3260 kg ha^{-1}). Essa cultivar se destaca pela alta produtividade de grãos, ampla adaptação às condições de cultivo do estado de Minas Gerais, tolerância a alguns patógenos e excelente qualidade de grãos (MENEZES JÚNIOR, 2011). Quatro populações apresentaram médias de produtividades superiores à testemunha BRS Valente, cultivar também de alto potencial produtivo (2108 kg ha^{-1}).

Tabela 13. Médias de produtividade de grãos, em kg ha^{-1} (PROD) e arquitetura de planta (ARQ), das 20 populações F_3 do ciclo um (C_1), avaliadas na safra das águas de 2018. Coimbra, MG.

Populações	**PROD**		**ARQ**	
14 (05)	3231	bc	3,17	a cde
18 (01)	3109	abc	2,67	a cde
11 (04)	3076	abc	2,50	a de
2 (03)	2973	abc e	3,33	a cde
5 (02)	2915	abcde	2,83	a cde
1 (06)	2815	abcde	3,17	a cde
9 (07)	2599	abcde	2,83	a cde
4 (11)	2587	abcde	3,33	a cde
19 (10)	2561	abcde	2,33	a de
13 (09)	2546	abcde	3,17	a cde
17 (13)	2502	abcde	3,00	a cde
6 (08)	2395	a cde	3,17	a cde
12 (15)	2385	a cde	2,67	a cde
3 (14)	2340	a cde	3,50	abcde
20 (19)	2299	a cde	2,17	a de
16 (12)	2188	a cde	3,17	a cde
10 (17)	2160	a cde	2,17	a de
8 (16)	2149	a cde	3,17	a cde
7 (20)	2102	a cde	3,00	a cde
15 (18)	2077	a cde	2,33	a de
Testemunhas				
IPR Uirapuru	2368	a	2,50	a
Ouro Negro	3260	b	4,50	b
BRS Esteio	2831	c	3,67	c
BRS Valente	2108	d	2,50	d
VP22	2244	e	3,17	e

Médias seguidas pela letra “a” na coluna não difere da testemunha IPR Uirapuru, pela letra “b” não difere da Ouro Negro, “c” não difere da BRS Esteio, “d” não difere da BRS Valente e “e”, não difere da VP22 (Dunnett à 5%). Valores entre parênteses referem-se à classificação das populações e testemunhas pela probabilidade de superar o padrão em 20% em relação ao caráter produtividade de grãos.

Também foi quantificado o potencial de cada população para gerar linhagens que superem à cultivar BRS Esteio (padrão), considerando dados de produção e diâmetro do hipocótilo por planta. Para isso, as 20 populações foram ordenadas de acordo com as respectivas probabilidades de cada população superar o padrão (PSP), pela metodologia de Jinks e Pooni (1976), que no presente estudo baseou-se em dados de média e variância dos referidos caracteres. Na tabela 14 são apresentadas as médias, as variâncias e as PSP.

Tabela 14. Probabilidade de superar o padrão em 20% (PSP) das 20 populações segregantes F_3 do ciclo C_1, em relação à testemunha BRS Esteio, considerando produção de grãos (PG) e diâmetro do hipocótilo (DH).

PG (g/planta)				DH (mm)			
Pop.	**Média**	**Variância genética**	**PSP (%)**	**Pop.**	**Média**	**Variância genética**	**PSP (%)**
18	15,29	39,75	53,19	1	5,79	0,47	17,11
5	15,07	36,64	52,39	2	5,70	0,46	14,92
2	14,66	31,06	50,40	5	5,77	0,34	14,46
11	14,64	18,75	50,40	11	5,88	0,15	12,92
14	14,43	41,64	49,20	6	5,42	0,55	10,56
1	13,75	12,71	44,83	9	5,67	0,25	10,38
9	13,61	19,74	44,43	18	5,48	0,44	10,20
6	12,72	16,56	38,97	3	5,53	0,37	9,85
13	12,18	19,09	36,69	13	5,46	0,40	9,01
19	12,17	6,18	33,36	12	5,65	0,19	8,53
4	11,81	9,22	31,92	8	5,35	0,31	6,06
16	10,27	27,01	28,77	20	5,04	0,62	6,06
17	10,79	15,44	28,43	17	5,18	0,45	5,71
3	11,24	7,34	28,10	10	4,96	0,56	4,75
12	11,49	-0,59	25,78	14	5,09	0,43	4,65
8	10,88	4,64	24,83	19	5,35	0,22	4,46
10	9,72	12,77	22,06	15	5,39	0,17	4,27
15	9,31	-2,65	11,70	4	5,38	0,15	3,67
20	9,24	-2,52	11,51	16	4,91	0,49	3,67
7	9,30	-4,89	9,85	7	5,28	0,17	3,14
Testemunha	**Média**	**V (E)**			**Média**	**V (E)**	
BRS Esteio	12,16	23,26			5,62	0,39	

Para produção de grãos por planta, as estimativas de PSP apresentaram maior variação, de 9,85% para a população 7 a 53,19% para a população 18 (Tabela 14). As populações mais promissoras, de acordo com as estimativas de PSP, foram as de número 18 (53,19%), 5 (52,39%), 2 (50,40%), 11 (50,40%), 14 (49,20%), 1 (44,83%) e 9 (44,43%). Estas populações também apresentaram as maiores médias de produtividade de grãos (Tabela 13). Por outro lado, as populações menos promissoras foram: 15 (11,70%), 20 (11,51%) e 7 (9,85%), as quais estão entre as de menores produtividades de grãos (Tabela 13).

Quanto ao diâmetro do hipocótilo, as estimativas de PSP, variaram de 3,14% para a população 7 a 17,11% para a população 1 (Tabela 14). Sete populações apresentaram PSP superior a 10% com médias de DH superior a 5,4 mm e em geral alta variância genética. As populações mais promissoras, de acordo com as estimativas de PSP, foram: 1 (17,11%), 2 (14,92%), 5 (14,46%), 11 (12,92%), 6 (10,56%), 9 (10,38%) e 18 (10,20%). Todas

apresentaram notas de arquitetura de planta semelhantes às das testemunhas de melhor arquitetura (Tabela 13). Segundo Moura et al. (2013), o DH é um dos caracteres determinantes da arquitetura de planta pois apresenta elevada associação de causa e efeito além de sua mensuração ser precisa e acurada, podendo ser utilizado como caractere auxiliar na seleção indireta de plantas mais eretas.

Observou-se estimativas de valores negativos de variância genética para quatro populações ao se utilizar a metodologia de Jinks e Pooni. Resultados semelhantes foram relatadas por Paula (2016), Abreu et al. (2002) e Rocha et al. (2013), ao utilizarem essa metodologia no feijoeiro. As avaliações de plantas individuais podem ser muito influenciadas pela elevada competição de plantas dentro de parcelas e pelo efeito de bordadura (VELLO; VENCOVSKY, 1974). Assim, estimativas viesadas da variância ambiental com base em apenas uma testemunha pode não representar a real variação das referidas populações avaliadas neste estudo (ROCHA et al., 2013).

As estimativas das variâncias genéticas de cada população, por essa metodologia, foram obtidas pela subtração da variância fenotípica de cada população pela variância fenotípica da testemunha BRS Esteio, a qual apresentou a maior média de produção de grãos além do comportamento mais consistente entre as testemunhas utilizadas. O seu valor foi estabelecido, neste trabalho, como equivalente à variância ambiental, uma vez que não há variância genética por ser considerada uma linha pura.

Considerando as populações de maior PSP, observou-se que oito populações (1, 2, 5, 6, 9, 11, 13 e 18) foram coincidentes pela metodologia de Jinks e Pooni, para as características produção de grãos e diâmetro do hipocótilo, simultaneamente (Tabela 14). De modo geral, esse resultado foi coerente com os desempenhos das populações (Tabela 13).

Esses resultados demonstram o potencial dessas populações no melhoramento visando produtividade de grãos e arquitetura ereta de planta, uma vez que as populações com maior PSP por meio da avaliação do diâmetro do hipocótilo, além de permitir o melhoramento das populações quanto ao potencial de extração de linhagens de melhor porte, no presente trabalho não influenciou no potencial das populações quanto à produtividade de grãos.

Resultados semelhantes foram observados por Paula (2016) e Silva et al. (2009), os quais relatam ser possível obter genótipos de alto potencial produtivo e de arquitetura ereta. Os resultados obtidos com este trabalho confirmam as expectativas de Silva et al. (2013), Moura et al. (2013) e de Poersch (2013) quanto ao potencial do diâmetro do hipocótilo na seleção indireta para o melhoramento da arquitetura de planta do feijoeiro.

6 CONCLUSÕES

Com base no índice da distância genótipo-ideótipo foi possível identificar linhagens que associam alto potencial de produção, arquitetura ereta de planta e bom aspecto comercial de grãos. A linhagem 116 se destacou entre as demais, portanto mostrou-se promissora para compor os futuros Ensaios de VCU do estado de Minas Gerais, na qual participa linhagens da UFV, UFLA e EMBRAPA.

Das 20 populações F_3 do ciclo C_1 do Programa de Seleção Recorrente de feijão preto, avaliadas através da metodologia de Jinks e Pooni (1976), oito apresentaram maior probabilidade para gerar linhagens superiores em termos de produtividade de grãos e arquitetura ereta de planta. Estas populações devem ser preferencialmente exploradas para derivação de famílias e recombinação visando dar continuidade ao Programa de Seleção Recorrente e também para extração de novas linhagens.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, A. de F. B.; DEL PELOSO, M. J. **Cultivares de Feijoeiro Comum para o Estado de Minas Gerais.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. Circular Técnica, 65. 4 p, 2004.

ABREU, A. de F. B.; RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. D. Prediction of seedyield potential of common bean populations. **Genetics and Molecular Biology**, v. 25, n. 3, p. 323-327, 2002.

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

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, 2012.

AMABILE, R. F.; VILELA, M. S.; PEIXOTO, J. R. **Melhoramento de plantas: variabilidade genética, ferramentas e mercado**. Embrapa Cerrados-Livro técnico (INFOTECA-E), 2018. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1106825>. Acesso em: 05 de dezembro de 2019.

AMARO, G. B.; ABREU, A. de 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, n. 3, p. 584-588, 2007.

ARANTES, L. O.; ABREU, A. de F. B.; RAMALHO, M. A. P. Eight cycles of recurrent selection for resistance to angular leaf spot in common bean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 10, n. 4, p. 232-237, 2010.

BARROSO, P. A. V.; HOFFMANN, L. **Métodos de predição do comportamento de populações de melhoramento**. Campina Grande: EMBRAPA Algodão. Documento, 108. 38 p, 2003.

BATISTA, L. G.; DOS ANJOS, R. S.; POERSCH, N. L.; NALIN, R. S.; CARNEIRO, P. C. S.; CARNEIRO, J. E. S.; RESENDE, M. D. Multigeneration Index in the Selection of Common Bean Inbred Families. **Crop Science**, v. 57, n. 5, p. 2354-2360, 2017.

BEARZOTI, E. **Simulação de seleção recorrente assistida por marcadores moleculares em espécies autógamas.** 1997. 230 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de plantas) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

BEM, E. M. A. de. **Seleção de linhagens de feijão carioca para ensaios de valor de cultivo e uso.** 2012. 45 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. Woodbury, MN: Stemma Press, 2010. 390 p.

BORÉM, A.; CARNEIRO, J. E. S.; A cultura. In: CARNEIRO, J. E. S.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão do plantio a colheita**. 1. ed. Viçosa: UFV. 2015. p. 9-15.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 6. ed. Viçosa: UFV, 2013. 523 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Requisitos mínimos para determinação do valor de cultivo e uso de feijão (*Phaseolus vulgaris*), para a inscrição no registro nacional de cultivares – RNC.** Anexo I. Brasília: MAPA, 2006.

BRESEGHELLO, F.; COELHO, A. S. G. Traditional and modern plant breeding methods with examples in rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 35, p. 8277-8286, 2013.

CARNEIRO, J. E. S. **Alternativas para obtenção e escolha de populações segregantes no feijoeiro**. 2002. 134 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

CARNEIRO, J. E. S.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B.; GONÇALVES, F. M. A. Breeding potential of single, double and multiple crosses in common bean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 2, n. 4, p. 515-524, 2002.

CARVALHO, C. G. P.; CRUZ, C. D.; VIANA, J. M. S.; SILVA, D. Selection based on distances from ideotype. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 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**, v. 32, n. 3, p. 297-304, 1997.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Série histórica de safras**. Disponível em:<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>. Acesso em: 20 de dezembro de 2019.

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

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

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2012. 514 p.

CUNHA, W. G.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B. Selection aiming at upright growth habit common bean with carioca type grains. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 5, n.4, p. 379-386, 2005.

CUTRIM, V. A.; RAMALHO, M. A. P.; CARVALHO, A. M. Eficiência da seleção visual na produtividade de grãos de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 6, p. 601-606, 1997.

DOS ANJOS, R. S. R; MARÇAL, T. de S.; CARNEIRO, P. C. S.; CARNEIRO, J. E. S. New proposals to estimate unbiased selection gain and coefficient of variation in traits evaluated using score scales. **Crop Science**, v. 59, n. 3, p. 937-944, 2019.

ELSTON, R. C. A weight-free index for the purpose of ranking or selection with respect to several traits at a time. **Biometrics**, Alexandria, v. 19, n. 1, p. 85-97, 1963.

FUSCALDI, K. C.; PRADO, G. R. Análise econômica da cultura do feijão. **Revista Política Agrícola**, v. 14, n. 1, p. 17-30, 2005.

GARCIA, A. A. F.; SOUZA JÚNIOR, C. L. Comparação de índices de seleção não paramétricos para a seleção de cultivares. **Bragantia**, v. 58, n. 2, p. 253-267, 1999.

GEPTS, P.; DEBOUCK, D. G. Origin, domestication, and evolution of the common bean (*Phaseolus vulgaris*). In: SCHOONHOVEN, A. van; VOYSEST, O. (Ed.). **Common beans**: research for Crop Improvement. Cali: CIAT, 1991. p.7-53.

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

GONÇALVES, R. J. de S.; ABREU, A. de F. B.; RAMALHO, M. A. P.; BRUZI, A. T. Strategies for recommendation of common bean lines tested for value of cultivation and use in different environments. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 9, n. 2, p. 132- 139, 2009.

HAZEL, L. N. The genetic basics for constructing selection indexes. **Genetics**, v. 28, n. 1, p. 476-490, 1943.

HUEHN, M. Optimum number of crosses and progeny per cross in breeding self-fertilizing crops. I. General approach and first numerical results. **Euphytica**, v. 91, n. 3, p. 365-374, 1996.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola.** Tabela 1618, IBGE, 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2020.

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

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

MARTINS, I. S.; CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. e PIRES, I. E. Eficiência da seleção univariada direta e indireta e de índices de seleção em *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, vol. 27, n. 3, p. 327-333, 2003.

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

MAZIERO, S. M.; RIBEIRO, N. D.; STORCK, L. Simultaneous selection in beans for architecture, grain yield and minerals concentration, **Euphytica**, Wageningen, v. 202, n. 5, p. 1-11, 2015.

MELO, C. L. P.; CARNEIRO, J. E. S.; CARNEIRO, P. C. S.; CRUZ, C. D.; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A. Linhagens de feijão do cruzamento 'Ouro Negro' x 'Pérola' com características agronômicas favoráveis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 11, p. 1593-1598, 2006.

MELO, L. C.; DEL PELOSO, M. J.; PEREIRA, H. S.; FARIA, L. C.; COSTA, J. G. C.; DÍAZ, J. L. C.; RAVA, C. A.; WENDLAND, A.; ABREU, A. de F. B. BRS Estilo: common bean cultivar with carioca grain, upright growth and high yield potential. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 10, n. 4, p. 377-379, 2010.

MELO, L. C.; FARIA, L. C.; DEL PELOSO, M. J.; COSTA, J. G. C.; RAVA, C. A.; LEMES, G. de C.; DIAZ, J. L. C.; ABREU, A. de F. B.; ZIMMERMANN, F. J. P. **Adaptabilidade e Estabilidade de produção da cultivar BRS Supremo em diferentes regiões brasileiras.** Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão. Comunicado técnico, 104. 3 p, 2005.

MENDONÇA, H. A. de; SANTOS, J. B. dos; RAMALHO, M. A. P. Selection of common bean segregation populations using genetic and phenotipic parameters and RAPD markers. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 2, n. 2, p. 219-226, 2002.

MENEZES JÚNIOR, J. Â. 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. Â. N.; CARNEIRO, J. E. S.; SILVA, V. M. P.; SILVA, L. C.; PETERNELLI, L. A.; CARNEIRO, P. C. S. Common bean breeding to improve red grain lines. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 11, n. 1, p. 50-58, 2011.

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

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

MESQUITA, F. R.; CORRÊA, A. D.; ABREU, C. M. P. de; LIMA, R. A. Z.; ABREU, A. de F. B. Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): composição química e digestibilidade proteica. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 4, p. 1114-1121, 2007.

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

MOURA, L. M. **Cruzamentos dialélicos visando à escolha de genitores no melhoramento de feijão preto**. 2013. 30 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

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

OLIVEIRA, B. M. de. **Potencial de linhagens de feijão oriundas da população 'Ouro Negro' x 'Meia Noite'.** 2012. 50 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

PAULA JÚNIOR T. J.; VIEIRA R. F.; LOBO JÚNIOR M.; MORANDI M. A. B.; CARNEIRO J. E. S.; ZAMBOLIM L. **Manejo integrado do mofo-branco do feijoeiro.** Viçosa: EPAMIG. 345 p, 2006.

PAULA JÚNIOR, T. J.; ZAMBOLIM, L. Doenças. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J. de; BORÉM, A. (Org.). **Feijão.** 2.ed. Viçosa: UFV, 2006. v. 1, p. 359-414.

PAULA JÚNIOR, T. J.; CARNEIRO, J. E. S.; VIEIRA, R. F.; ABREU, A. de F. B.; RAMALHO, M. A. P.; DEL PELOSO, M. J.; TEIXEIRA, H. **Cultivares de feijão-comum para Minas Gerais.** Belo Horizonte: EPAMIG. 40 p, 2010.

PAULA, R. M. de. **Modelos mistos na avaliação do potencial genético de populações e progênies de feijoeiro.** 2016. 46 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

PEREIRA, A. da S.; GOMES, C. B.; CASTRO, C. M.; SILVA, G. O. da. Melhoramento para Resistência a Oomicetos. In: BORÉM, A.; FRITSCHE-NETO, R. (Eds.). **Melhoramento de plantas para condições de estresses bióticos.** Viçosa: UFV, 2012. p. 25-59.

PEREIRA, H. S.; MELO, L. C.; DEL PELOSO, M. J.; FARIA, L. C. de; COSTA, J. G. C. da; DÍAZ, J. L. C.; RAVA, C. A.; WENDLAND, A. Comparação de métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em feijoeiro-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 4, p. 374-383, 2009.

PEREIRA, M. J. Z. **Resistência do feijoeiro a *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli*.** 2007. 103 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

PEREIRA, M. J. Z.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B. Estratégias para eficiência da seleção de feijoeiro quanto à resistência à murcha-de-fusário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 6, p. 721-728, 2008.

PEREIRA, M. J. Z.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B. Reação de linhagens de feijoeiro ao fungo *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* em 55 condições controladas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 5, p. 940-947, 2011.

PESEK, J.; BAKER, R. J. Desired improvement in relation to selected indices. **Canadian Journal of Plant Science,** v. 49, n. 1, p. 803-804, 1969.

PIMENTEL, A. J. B.; SOUZA, M. A.; CARNEIRO, P. C. S.; ROCHA, J. R. A. S. C.; MACHADO, J. C.; RIBEIRO, G. Análise dialélica parcial em gerações avançadas para seleção de populações segregantes de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 12, p. 1555-1561, 2013.

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

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

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B. Obtenção de cultivares. In: CARNEIRO, J. E. S.; PAULA JUNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão do plantio à colheita**. 1. ed. Viçosa: UFV, 2015. p. 96-114.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B.; CARNEIRO, J. E. S.; Cultivares. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 25, n. 223, p. 21-33, 2004.

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

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

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

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

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; ZIMMERMANN, M. J. **Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro**. Goiânia: UFG, 1993. 271 p.

RESENDE, M. D. V. de; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.

ROCHA G. S; CARNEIRO J. E. S; REZENDE JÚNIOR L. S; SILVA V. M. P, MENEZES JÚNIOR J. Â. N; CARNEIRO P. C. S; CECON P. R. Effect of environments on the estimated genetic potential of segregating common bean populations. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 13, n. 4, p. 241-248, 2013.

ROCHA, G. S. **Desempenho produtivo e resistência a patógenos em populações de feijão do tipo carioca.** 2008. 63 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

RONZELLI JÚNIOR, P. **Melhoramento genético de plantas.** Curitiba: Graffice, 1996. 219 p.

SANTOS, C. A. F.; ARAÚJO, F. P. Aplicação de índices para seleção de caracteres agronômicos de feijão de corda. **Ciência Agronômica**, v. 32, n. 1, p. 78-84, 2001.

SANTOS, J. B.; GAVILANES, M. L. Botânica. IN: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2006. p. 41-66.

SANTOS, P. G.; SOARES, A. A.; RAMALHO, M. A. P. Predição do potencial genético de populações segregantes de arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 4, p. 659-670, 2001.

SANTOS, V. S. **Seleção de pré-cultivares de soja baseado em índices**. 2005. 100 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005.

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

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

SILVA, O. F.; WANDER, A. E. **O feijão-comum no Brasil passado, presente e futuro**. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 63 p, (Documentos), 2013.

SILVA, V. M. P. e; CARNEIRO, P. C. S.; MENEZES JÚNIOR, J. Â. N.; CARNEIRO, V. Q.; CARNEIRO, J. E. S.; CRUZ, C. D.; BORÉM, A. Genetic potential of common bean parents for plant architecture improvement. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 3, p. 167-175, 2013.

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

SMITH, H. F. A discriminant function for plant selection. **Annals of Eugenics**, v. 7, n. 1, p. 240-250, 1936.

SOUZA, M. H. de. **Potencial genético de cultivares de feijão preto e carioca recomendadas no Brasil.** 2019. 47 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2019.

SUBANDI, W.; COMPTON, A.; EMPIG, L. T. Comparison of the efficiencies of selection indices for three traits in two variety crosses of corn. **Crop Science**, v. 13, n. 1, p. 184-186, 1973.

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

TRILLER, C.; TOLEDO, J. F. F. Using the F_3 generation for predicting the breeding potential of soybean crosses. **Revista Brasileira de Genética**, v. 19, n. 2, p. 289-294, 1996.

VELLO, N. A.; NAZATO, F. M. Seleção recorrente. In: SILVA, F. L.; BORÉM, A.; SEDIYAMA, T.; LUDKE, W. **Melhoramento da soja**. Viçosa: UFV, 2017. p. 222- 248.

VELLO, N. A.; VENCOVSKY, R. Variâncias associadas às estimativas de variância genética e coeficiente de herdabilidade. In: **Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, (Relatório Científico de 1974). p. 238-248, 1974.

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

VOYSEST, O. V. **Mejoramiento Genético del Frijol.** Cali, Colômbia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 2000. 195 p.

8 APÊNDICES

APÊNCIDE A. Médias de produtividade de grãos, em kg ha^{-1} (PROD), aspecto de grãos (AG) e arquitetura de planta (ARQ), das 164 linhagens selecionadas avaliadas na safra da seca de 2018. Coimbra, MG.

Linhagens	PROD	AG	ARQ
349	4712 abcde	1,75 abcde	2,50 bcde
226	4133 abcde	1,50 a cde	2,13 bcde
107	4638 abcde	1,75 abcde	2,63 bcde
366	5197 abcde	2,00 abcde	2,75 bcde
305	4335 abcde	1,75 abcde	2,38 bcde
215	3893 abcde	1,38 a de	1,75 bcd
199	4971 abcde	1,88 abcde	2,88 abcde
350	4845 abcde	1,63 a cde	3,00 abcde
268	4424 abcde	1,88 abcde	2,50 bcde
204	4689 abcde	1,88 abcde	2,75 bcde
252	4605 abcde	1,75 abcde	2,88 abcde
82	3988 abcde	1,63 a cde	2,13 bcde
207	4158 abcde	1,88 abcde	2,25 bcde
219	4019 abcde	2,00 abcde	1,63 b
214	4298 abcde	2,00 abcde	2,38 bcde
295	4496 abcde	1,88 abcde	2,88 abcde
208	5014 abcde	1,88 abcde	3,13 abcde
348	4484 abcde	1,75 abcde	3,00 abcde
270	4033 abcde	1,25 e	2,88 abcde
224	4169 abcde	1,88 abcde	2,63 bcde
89	4007 abcde	2,13 abcde	1,75 bcd
186	4168 abcde	2,00 abcde	2,50 bcde
202	4207 abcde	1,88 abcde	2,75 bcde
340	4202 abcde	2,00 abcde	2,63 bcde
260	4042 abcde	2,00 abcde	2,38 bcde
185	3923 abcde	1,88 abcde	2,25 bcde
221	4049 abcde	1,75 abcde	2,75 bcde
213	4361 abcde	1,88 abcde	3,00 abcde
86	4050 abcde	2,00 abcde	2,50 bcde
228	3888 abcde	1,88 abcde	2,25 bcde
3	4090 abcde	1,88 abcde	2,75 bcde
177	5051 abcde	1,88 abcde	3,25 abcde
241	4095 abcde	1,58 a cde	3,00 abcde
22	3900 abcde	1,88 abcde	2,38 bcde
238	4468 abcde	1,88 abcde	3,13 abcde

318	4234 abcde	1,63 a cde	3,13 abcde
354	3933 abcde	2,00 abcde	2,38 bcde
294	4355 abcde	2,00 abcde	3,00 abcde
218	4860 abcde	1,88 abcde	3,25 abcde
263	4317 abcde	2,00 abcde	3,00 abcde
346	3987 abcde	1,88 abcde	2,75 bcde
90	3925 abcde	1,75 abcde	2,75 bcde
113	4310 abcde	2,13 abcde	2,88 abcde
300	4296 abcde	2,00 abcde	3,00 abcde
222	3930 abcde	2,00 abcde	2,50 bcde
65	3908 abcde	1,88 abcde	2,63 bcde
365	4363 abcde	2,25 abcde	2,75 bcde
342	4249 abcde	2,00 abcde	3,00 abcde
235	4681 abcde	2,13 abcde	3,13 abcde
125	3992 abcde	1,88 abcde	2,88 abcde
163	4193 abcde	2,00 abcde	3,00 abcde
361	4089 abcde	2,13 abcde	2,75 bcde
203	4180 abcde	2,00 abcde	3,00 abcde
307	3801 abcde	1,88 abcde	2,38 bcde
296	4419 abcde	1,75 abcde	3,25 abcde
347	3999 abcde	1,75 abcde	3,00 abcde
122	4154 abcde	2,13 abcde	2,88 abcde
165	3939 abcde	2,13 abcde	2,50 bcde
245	4494 abcde	1,88 abcde	3,25 abcde
292	3939 abcde	1,88 abcde	2,88 abcde
231	4647 abcde	2,00 abcde	3,25 abcde
234	4755 abcde	2,25 abcde	3,13 abcde
395	3798 abcde	2,13 abcde	2,00 bcde
169	4092 abcde	2,00 abcde	3,00 abcde
143	4580 abcde	2,00 abcde	3,25 abcde
290	3992 abcde	1,88 abcde	3,00 abcde
304	3714 abcde	1,50 a cde	2,50 bcde
247	4169 abcde	2,13 abcde	3,00 abcde
111	3838 abcde	2,00 abcde	2,63 bcde
131	4375 abcde	2,38 abcd	2,75 bcde
30	4110 abcde	1,63 a cde	3,25 abcde
323	4780 abcde	1,75 abcde	3,38 abcde
301	4170 abcde	1,75 abcde	3,25 abcde
216	4222 abcde	1,88 abcde	3,25 abcde
187	4352 abcde	2,00 abcde	3,25 abcde
136	4067 abcde	2,13 abcde	3,00 abcde
220	3791 abcde	1,88 abcde	2,75 bcde
149	4212 abcde	2,13 abcde	3,13 abcde
264	3944 abcde	2,00 abcde	3,00 abcde

128	4034 abcde	2,13 abcde	3,00 abcde
345	3864 abcde	1,63 a cde	3,13 abcde
255	3867 abcde	2,13 abcde	2,75 bcde
26	3996 abcde	2,13 abcde	3,00 abcde
196	4228 abcde	2,00 abcde	3,25 abcde
289	4377 abcde	2,13 abcde	3,25 abcde
193	3895 abcde	2,00 abcde	3,00 abcde
259	3837 abcde	1,63 a cde	3,13 abcde
172	3989 abcde	2,00 abcde	3,13 abcde
357	3693 abcde	1,50 a cde	2,75 bcde
140	3832 abcde	1,88 abcde	3,00 abcde
100	4164 abcde	2,00 abcde	3,25 abcde
332	3870 abcde	2,00 abcde	3,00 abcde
126	4050 abcde	1,88 abcde	3,25 abcde
180	4046 abcde	1,88 abcde	3,25 abcde
110	4671 abcde	2,00 abcde	3,38 abcde
306	4124 abcde	2,00 abcde	3,25 abcde
104	3926 abcde	2,00 abcde	3,13 abcde
157	4092 abcde	2,00 abcde	3,25 abcde
278	3997 abcde	2,13 abcde	3,13 abcde
141	3734 abcde	2,00 abcde	2,75 bcde
154	3689 abcde	1,75 abcde	2,75 bcde
56	4141 abcde	2,13 abcde	3,25 abcde
389	3692 abcde	2,13 abcde	2,25 bcde
124	3736 abcde	1,75 abcde	3,00 abcde
147	4291 abcde	1,88 abcde	3,38 abcde
310	3931 abcde	1,88 abcde	3,25 abcde
178	3993 abcde	1,98 abcde	3,25 abcde
223	3677 abcde	1,88 abcde	2,63 bcde
170	3969 abcde	2,00 abcde	3,25 abcde
360	3661 abcde	1,88 abcde	2,50 bcde
189	4319 abcde	2,00 abcde	3,38 abcde
92	4299 abcde	2,00 abcde	3,38 abcde
206	3724 abcde	1,88 abcde	3,00 abcde
246	4223 abcde	2,00 abcde	3,38 abcde
351	3845 abcde	1,88 abcde	3,25 abcde
315	3969 abcde	1,63 a cde	3,38 abcde
171	3888 abcde	2,00 abcde	3,25 abcde
29	4148 abcde	2,00 abcde	3,38 abcde
297	4148 abcde	2,00 abcde	3,38 abcde
168	3954 abcde	2,50 bc	2,38 bcde
137	4130 abcde	2,00 abcde	3,38 abcde
201	3674 abcde	1,88 abcde	2,88 abcde
112	4128 abcde	2,00 abcde	3,38 abcde

69	3720 abcde	2,13 abcde	2,88 abcde
298	3849 abcde	2,00 abcde	3,25 abcde
119	3724 abcde	1,50 a cde	3,25 abcde
195	3838 abcde	2,00 abcde	3,25 abcde
130	3899 abcde	2,13 abcde	3,25 abcde
190	3934 abcde	1,75 abcde	3,38 abcde
173	3821 abcde	2,00 abcde	3,25 abcde
367	4047 abcde	2,00 abcde	3,38 abcde
343	3636 abcde	1,88 abcde	2,63 bcde
239	4304 abcde	2,25 abcde	3,38 abcde
277	3706 abcde	2,13 abcde	3,00 abcde
210	3704 abcde	2,00 abcde	3,25 abcde
356	3750 abcde	1,75 abcde	3,38 abcde
265	3653 abcde	2,38 abcd	2,50 bcde
212	3786 abcde	2,00 abcde	3,38 abcde
271	3777 abcde	2,00 abcde	3,38 abcde
182	3775 abcde	2,00 abcde	3,38 abcde
205	3614 abcde	2,00 abcde	2,75 bcde
99	3640 abcde	2,13 abcde	3,00 abcde
160	3677 abcde	2,50 bc	2,13 bcde
101	3744 abcde	2,00 abcde	3,38 abcde
135	3605 abcde	2,00 abcde	2,63 bcde
280	3598 abcde	1,88 abcde	2,50 bcde
312	3704 abcde	2,25 abcde	3,25 abcde
316	3704 abcde	2,25 abcde	3,25 abcde
353	3698 abcde	2,00 abcde	3,38 abcde
175	3600 abcde	1,88 abcde	3,00 abcde
132	3615 abcde	2,13 abcde	3,13 abcde
192	3618 abcde	2,00 abcde	3,25 abcde
28	3592 abcde	1,63 a cde	3,00 abcde
156	3589 abcde	2,38 abcd	2,38 bcde
115	3587 abcde	2,00 abcde	3,25 abcde
Ouro Negro	4559 a	1,88 a	4,25 a
BRS Esteio	4085 b	2,25 b	2,63 b
IPR Tiziu	3905 c	2,00 c	3,13 c
BRS Valente	3548 d	1,88 d	3,13 d
VP22	4506 e	1,75 e	3,25 e

APÊNDICE B. Médias de produtividade de grãos, em kg ha^{-1} (PROD), aspecto de grãos (AG) e arquitetura de planta (ARQ), das linhagens classificadas segundo o índice genótipo-ideótipo. Safras das águas de 2018 e da seca de 2019. Coimbra, MG.

		PROD		AG		ARQ
Trat.	**Classif.**	**Águas 2018**	**Seca 2019**	**Águas 2018**	**Seca 2019**	**Seca 2019**
116	1	4468,20 a cd	1913,18 abcde	1,92 abcd	1,83 abcde	1,92 c e
144	2	4730,27 a d	1742,02 abcde	2,17 abcde	2,00 abcde	1,67
12	3	3992,60 abcd	2352,15 a e	2,17 abcde	1,92 abcde	2,42 abcde
34	4	3890,67 abcd	1747,23 abcde	1,83 abcd	1,75 abcde	2,17 abc e
117	5	3032,90 abcde	1941,27 abcde	2,17 abcde	1,83 abcde	1,92 c e
48	6	4282,33 a cd	1714,05 abcde	2,25 abcde	1,83 abcde	2,08 abc e
14	7	3861,90 abcd	2257,50 abc e	2,08 abcde	1,75 abcde	2,58 abcde
52	8	3476,83 abcde	2061,63 abc e	2,42 abcde	2,00 abcde	1,92 c e
103	9	3797,90 abcd	2118,73 abc e	2,08 abcde	2,08 abcde	2,33 abc e
61	10	2919,27 abcde	2263,45 abc e	2,17 abcde	1,92 abcde	2,25 abc e
102	11	4930,13 a	2244,23 abc e	2,42 abcde	2,08 abcde	2,33 abc e
13	12	5167,57 a	1981,77 abcde	2,17 abcde	2,00 abcde	2,50 abcde
157	13	2341,23 bcde	2175,38 abc e	2,08 abcde	1,75 abcde	2,17 abc e
35	14	4326,37 a cd	2477,90 a	2,50 abc e	1,75 abcde	2,58 abcde
99	15	3709,40 abcd	2311,40 ab e	2,25 abcde	2,25 abc e	2,17 abc e
156	16	3335,17 abcde	1907,22 abcde	2,33 abcde	2,00 abcde	2,08 abc e
8	17	3311,63 abcde	1951,00 abcde	2,08 abcde	2,00 abcde	2,33 abc e
148	18	3350,07 abcde	1962,32 abcde	2,17 abcde	1,75 abcde	2,50 abcde
67	19	2603,57 abcde	2066,55 abc e	2,08 abcde	1,92 abcde	2,25 abc e
150	20	3909,43 abcd	1829,52 abcde	2,08 abcde	2,08 abcde	2,33 abc e
81	21	3024,97 abcde	2155,43 abc e	1,92 abcd	1,83 abcde	2,58 abcde
112	22	2690,53 abcde	1868,98 abcde	2,25 abcde	1,92 abcde	2,00 c e
25	23	5158,47 a	2451,38 a e	2,58 abc e	2,17 abc e	2,33 abc e
29	24	3583,43 abcde	2322,67 ab e	2,25 abcde	2,08 abcde	2,50 abcde
23	25	4447,77 a cd	1686,77 abcde	1,92 abcd	1,75 abcde	2,58 abcde
154	26	3811,97 abcd	1727,87 abcde	2,25 abcde	2,00 abcde	2,25 abc e
162	27	3142,80 abcde	2269,25 abc e	1,92 abcd	2,08 abcde	2,50 abcde
111	28	2716,10 abcde	1999,78 abcde	2,08 abcde	1,92 abcde	2,33 abc e
20	29	3036,10 abcde	2054,15 abc e	2,17 abcde	1,92 abcde	2,50 abcde
142	30	3556,73 abcde	1959,52 abcde	2,33 abcde	1,92 abcde	2,50 abcde
75	31	3438,73 abcde	2064,37 abc e	2,00 abcde	1,92 abcde	2,67 abcde
147	32	2713,70 abcde	2026,18 abcde	2,00 abcde	1,83 abcde	2,50 abcde
149	33	3971,80 abcd	1948,53 abcde	2,50 abc e	2,17 abc e	2,17 abc e
92	34	2897,07 abcde	1778,73 abcde	2,00 abcde	1,83 abcde	2,42 abcde
155	35	3615,23 abcde	1931,83 abcde	2,50 abc e	2,08 abcde	2,25 abc e
141	36	2831,53 abcde	2264,87 abc e	2,25 abcde	2,08 abcde	2,42 abcde
83	37	4185,50 a cd	2029,68 abcde	2,33 abcde	2,17 abc e	2,50 abcde
54	38	3973,07 abcd	2134,35 abc e	2,50 abc e	1,83 abcde	2,67 abcde
126	39	2698,43 abcde	1872,47 abcde	2,08 abcde	1,92 abcde	2,42 abcde
96	41	3961,90 abcd	2122,62 abc e	2,17 abcde	2,33 abc e	2,42 abcde

93	42	2794,63	abcde	1916,02	abcde	2,08	abcde	1,92	abcde	2,50	abcde
128	43	3674,40	abcd	1866,12	abcde	2,33	abcde	1,92	abcde	2,58	abcde
169	44	4788,17	a d	1694,53	abcde	2,17	abcde	2,25	abc e	2,33	abc e
145	45	2422,50	bcde	2132,92	abc e	2,08	abcde	2,17	abc e	2,25	abc e
140	46	3076,30	abcde	2393,70	a e	2,42	abcde	2,33	abc e	2,08	abc e
57	47	2594,07	abcde	1892,37	abcde	2,17	abcde	2,08	abcde	2,25	abc e
143	48	2661,13	abcde	2224,13	abc e	2,17	abcde	2,08	abcde	2,50	abcde
94	49	2689,53	abcde	1991,33	abcde	2,50	abc e	1,75	abcde	2,42	abcde
151	50	3649,93	abcd	1908,15	abcde	2,08	abcde	2,33	abc e	2,33	abc e
120	51	2674,57	abcde	2170,73	abc e	2,17	abcde	2,00	abcde	2,58	abcde
125	52	2706,83	abcde	1982,75	abcde	1,92	abcd	1,83	abcde	2,67	abcde
166	53	3647,60	abcd	1789,47	abcde	2,25	abcde	2,00	abcde	2,58	abcde
51	54	3021,10	abcde	2055,45	abc e	2,25	abcde	2,25	abc e	2,33	abc e
79	55	2985,40	abcde	1855,07	abcde	2,00	abcde	2,08	abcde	2,50	abcde
135	56	2502,40	bcde	2211,58	abc e	2,00	abcde	1,92	abcde	2,67	abcde
91	57	3251,77	abcde	2192,03	abc e	2,08	abcde	2,17	abc e	2,67	abcde
98	58	3632,17	abcde	1844,58	abcde	2,25	abcde	2,17	abc e	2,50	abcde
3	59	2874,93	abcde	1940,45	abcde	2,42	abcde	1,75	abcde	2,58	abcde
101	60	2429,87	bcde	1899,83	abcde	2,08	abcde	1,92	abcde	2,50	abcde
133	61	2805,73	abcde	1802,33	abcde	2,25	abcde	1,92	abcde	2,50	abcde
49	62	2768,60	abcde	2262,60	abc e	2,42	abcde	2,17	abc e	2,42	abcde
146	63	2995,53	abcde	1698,05	abcde	2,17	abcde	2,17	abc e	2,25	abc e
62	64	3604,50	abcde	2186,33	abc e	2,67	abc e	2,00	abcde	2,58	abcde
158	65	1910,87	bcde	2004,18	abcde	2,08	abcde	2,00	abcde	2,33	abc e
26	66	3568,80	abcde	2107,92	abc e	2,08	abcde	2,33	abc e	2,58	abcde
76	67	2752,40	abcde	2279,95	abc e	2,33	abcde	2,25	abc e	2,42	abcde
17	68	3130,50	abcde	2057,43	abc e	1,92	abcd	2,33	abc e	2,50	abcde
6	69	2920,90	abcde	1766,33	abcde	2,25	abcde	2,17	abc e	2,33	abc e
4	70	3340,70	abcde	1885,35	abcde	1,92	abcd	2,25	abc e	2,58	abcde
18	71	4837,97	a d	2156,60	abc e	2,75	abc e	2,42	bc e	2,08	abc e
19	72	2955,33	abcde	2078,85	abc e	2,25	abcde	2,25	abc e	2,50	abcde
84	73	2483,80	bcde	2084,12	abc e	2,42	abcde	2,17	abc e	2,33	abc e
36	74	2225,00	bcde	1886,63	abcde	2,08	abcde	1,83	abcde	2,58	abcde
136	75	3062,87	abcde	1922,15	abcde	2,33	abcde	2,33	abc e	2,25	abc e
27	76	2407,03	bcde	2124,50	abc e	2,33	abcde	2,17	abc e	2,42	abcde
90	77	4274,93	a cd	2312,45	ab e	2,67	abc e	2,17	abc e	2,67	abcde
2	78	2699,93	abcde	2055,70	abc e	2,08	abcde	1,83	abcde	2,83	abcde
33	79	2379,23	bcde	2059,85	abc e	2,08	abcde	1,83	abcde	2,75	abcde
71	80	2479,83	bcde	2208,23	abc e	2,42	abcde	1,92	abcde	2,67	abcde
130	81	2786,57	abcde	1857,83	abcde	2,17	abcde	2,25	abc e	2,42	abcde
31	82	2877,20	abcde	2195,82	abc e	2,00	abcde	2,33	abc e	2,58	abcde
59	83	2510,40	bcde	1819,67	abcde	2,17	abcde	1,83	abcde	2,67	abcde
58	84	4534,63	a cd	1967,43	abcde	2,67	abc e	2,00	abcde	2,75	abcde
129	85	2481,90	bcde	2207,32	abc e	2,42	abcde	2,08	abcde	2,58	abcde
121	86	2064,27	bcde	1974,78	abcde	2,08	abcde	2,25	abc e	2,25	abc e
134	87	3600,47	abcde	1865,40	abcde	2,42	abcde	2,33	abc e	2,42	abcde

115	88	3784,67	abcd	2344,83	a e	2,75	abc e	2,08	abcde	2,67	abcde
74	89	2422,30	bcde	2169,00	abc e	2,08	abcde	1,92	abcde	2,83	abcde
105	90	3293,93	abcde	1958,37	abcde	2,33	abcde	2,33	abc e	2,50	abcde
108	91	2228,30	bcde	1868,63	abcde	2,17	abcde	2,25	abc e	2,25	abc e
119	92	2246,63	bcde	1685,12	abcde	1,92	abcd	1,83	abcde	2,58	abcde
47	93	2644,70	abcde	2060,40	abc e	2,17	abcde	2,25	abc e	2,58	abcde
39	94	2985,57	abcde	1898,75	abcde	2,25	abcde	1,92	abcde	2,83	abcde
80	95	2631,23	abcde	1700,17	abcde	2,33	abcde	2,08	abcde	2,42	abcde
1	96	3085,00	abcde	1514,07	abcde	2,42	abcde	1,83	abcde	2,50	abcde
114	97	4178,70	a cd	1849,73	abcde	2,75	abc e	2,42	bc e	1,92	c e
124	98	4262,77	a cd	1677,23	abcde	2,50	abc e	2,42	bc e	2,17	abc e
53	99	2880,73	abcde	1780,17	abcde	2,33	abcde	2,25	abc e	2,42	abcde
88	100	2635,03	abcde	2115,72	abc e	2,42	abcde	2,00	abcde	2,75	abcde
37	101	2869,57	abcde	1633,03	abcde	2,42	abcde	2,00	abcde	2,50	abcde
60	102	2866,03	abcde	1942,70	abcde	2,42	abcde	2,00	abcde	2,75	abcde
132	103	3033,37	abcde	2025,57	abcde	2,67	abc e	2,17	abc e	2,50	abcde
160	104	3199,60	abcde	1556,28	abcde	2,33	abcde	2,17	abc e	2,42	abcde
41	105	2908,37	abcde	1495,70	abcde	2,25	abcde	2,00	abcde	2,50	abcde
165	106	3133,60	abcde	1694,23	abcde	2,17	abcde	1,92	abcde	2,83	abcde
10	107	2591,10	abcde	1810,12	abcde	2,33	abcde	2,00	abcde	2,67	abcde
69	108	3620,70	abcde	1640,90	abcde	2,25	abcde	2,42	bc e	2,33	abc e
72	109	2796,47	abcde	2205,10	abc e	2,50	abc e	2,33	abc e	2,50	abcde
40	110	2518,80	bcde	1982,07	abcde	2,17	abcde	2,00	abcde	2,83	abcde
70	111	2157,50	bcde	1586,45	abcde	2,08	abcde	1,92	abcde	2,50	abcde
24	112	3108,30	abcde	1873,35	abcde	2,33	abcde	2,42	bc e	2,42	abcde
56	113	3886,10	abcd	1898,23	abcde	2,58	abc e	2,17	abc e	2,75	abcde
28	114	2954,47	abcde	1690,50	abcde	2,42	abcde	2,25	abc e	2,42	abcde
55	115	2655,57	abcde	1971,75	abcde	2,17	abcde	2,08	abcde	2,83	abcde
110	116	3053,10	abcde	2078,23	abc e	2,42	abcde	2,42	bc e	2,50	abcde
168	117	2311,17	bcde	2035,37	abcde	2,25	abcde	2,25	abc e	2,58	abcde
66	118	3515,27	abcde	1638,35	abcde	2,50	abc e	2,17	abc e	2,58	abcde
85	119	2566,93	abcde	1675,07	abcde	2,08	abcde	2,17	abc e	2,58	abcde
22	120	2050,13	bcde	1926,97	abcde	2,50	abc e	1,92	abcde	2,58	abcde
89	122	3131,47	abcde	1726,58	abcde	2,42	abcde	1,92	abcde	2,83	abcde
164	123	2048,73	bcde	1753,63	abcde	2,00	abcde	1,83	abcde	2,75	abcde
21	124	3083,97	abcde	1653,02	abcde	2,42	abcde	2,08	abcde	2,67	abcde
65	125	3372,30	abcde	1790,98	abcde	2,58	abc e	2,17	abc e	2,67	abcde
109	126	2538,07	bcde	1604,87	abcde	2,50	abc e	2,00	abcde	2,50	abcde
159	128	2404,73	bcde	1924,28	abcde	2,42	abcde	1,92	abcde	2,83	abcde
161	129	3111,83	abcde	1651,43	abcde	2,58	abc e	2,25	abc e	2,42	abcde
131	130	2621,57	abcde	1751,80	abcde	2,33	abcde	1,92	abcde	2,83	abcde
163	131	2438,20	bcde	1700,32	abcde	2,50	abc e	1,92	abcde	2,67	abcde
42	132	2557,80	abcde	2077,70	abc e	2,50	abc e	2,25	abc e	2,67	abcde
122	134	2808,47	abcde	1752,05	abcde	2,67	abc e	2,08	abcde	2,58	abcde
87	135	3069,13	abcde	1660,98	abcde	2,83	a c e	2,25	abc e	2,08	abc e
11	136	2647,03	abcde	1742,87	abcde	2,33	abcde	2,17	abc e	2,70	abcde

45	137	3132,10	abcde	1750,05	abcde	2,58	abc e	2,25	abc e	2,58	abcde
68	138	2165,17	bcde	1750,38	abcde	2,42	abcde	2,08	abcde	2,58	abcde
139	139	3056,50	abcde	1583,77	abcde	2,50	abc e	2,17	abc e	2,58	abcde
82	140	2449,87	bcde	1804,37	abcde	2,08	abcde	2,00	abcde	2,92	abcde
123	141	2587,50	abcde	1358,87	bcde	2,25	abcde	2,00	abcde	2,50	abcde
118	142	2521,67	bcde	1735,53	abcde	2,58	abc e	2,00	abcde	2,67	abcde
9	143	1960,80	bcde	1793,83	abcde	2,42	abcde	1,83	abcde	2,75	abcde
106	144	1993,70	bcde	1763,07	abcde	2,25	abcde	2,00	abcde	2,75	abcde
44	145	2168,80	bcde	1876,10	abcde	2,50	abc e	1,83	abcde	2,83	abcde
5	146	2843,30	abcde	1720,03	abcde	2,67	abc e	2,08	abcde	2,67	abcde
86	147	2840,90	abcde	1774,13	abcde	2,33	abcde	2,42	bc e	2,58	abcde
43	148	2784,83	abcde	1824,28	abcde	2,58	abc e	2,42	bc e	2,42	abcde
153	149	2121,77	bcde	1554,55	abcde	2,42	abcde	2,00	abcde	2,58	abcde
15	151	2130,90	bcde	1701,25	abcde	2,25	abcde	2,08	abcde	2,75	abcde
50	152	2091,17	bcde	2172,25	abc e	2,25	abcde	2,42	bc e	2,67	abcde
73	153	2490,70	bcde	1632,43	abcde	2,33	abcde	2,17	abc e	2,75	abcde
107	154	2144,17	bcde	1711,87	abcde	2,33	abcde	2,42	bc e	2,42	abcde
63	155	2599,67	abcde	1655,75	abcde	2,33	abcde	2,50	bc e	2,42	abcde
97	156	2691,83	abcde	1385,78	bcde	2,25	abcde	2,17	abc e	2,67	abcde
137	157	2910,53	abcde	1546,28	abcde	2,67	abc e	2,17	abc e	2,67	abcde
64	158	2515,57	bcde	1891,05	abcde	2,08	abcde	2,08	abcde	3,17	abcd
7	159	2503,13	bcde	1515,72	abcde	2,42	abcde	2,25	abc e	2,67	abcde
100	160	2369,70	bcde	1411,80	bcde	2,33	abcde	1,92	abcde	2,83	abcde
46	161	2056,33	bcde	1919,98	abcde	2,33	abcde	2,25	abc e	2,92	abcde
16	162	2538,03	bcde	1424,27	abcde	2,50	abc e	1,83	abcde	2,92	abcde
127	163	2513,00	bcde	1775,23	abcde	2,83	a c e	2,25	abc e	2,67	abcde
138	164	2965,47	abcde	1295,97	bcde	2,42	abcde	1,83	abcde	3,08	abcde
77	165	2406,93	bcde	1485,03	abcde	2,50	abc e	2,08	abcde	3,00	abcde
167	166	2089,60	bcde	1980,87	abcde	3,25		2,25	abc e	2,75	abcde
32	167	1779,33	bc e	1762,97	abcde	3,00	e	2,33	abc e	2,75	abcde
30	168	1747,17	bc e	1616,60	abcde	2,83	a c e	2,33	abc e	2,92	abcde
113	169	1851,03	bc e	1537,95	abcde	2,83	a c e	2,17	abc e	3,17	abcd
BRS Esteio	40	4040,13	a	2009,40	a	2,33	a	1,83	a	2,75	a
VP22	127	2499,43	b	1745,27	b	2,17	b	2,08	b	2,75	b
IPR Tiziu	121	3127,97	c	1694,57	c	2,33	c	2,25	c	2,58	c
Ouro Negro	150	3386,87	d	1448,75	d	1,83	d	1,58	d	3,08	d
BRS Valente	133	2137,73	e	1881,22	e	2,58	e	2,17	e	2,42	e

Médias seguidas pela mesma letra da testemunha, na coluna, não diferem estatisticamente da testemunha (Dunnett, 5%).