

ADRIEL CARLOS DA SILVA

**ESCOLHA DE GENITORES E POPULAÇÕES DE FEIJOEIRO
COM ÊNFASE EM RESISTÊNCIA À MURCHA-DE-FUSÁRIO**

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*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2018

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

T

S586e
2018 Silva, Adriel Carlos da, 1990-
Escolha de genitores e populações de feijoeiro com ênfase em
resistência à murcha-de-fusário / Adriel Carlos da Silva. - Viçosa, MG,
2018.
ix, 58 f. : il. ; 29 cm.

Orientador: José Eustáquio de Souza Carneiro.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 50-58.

1. Feijão - Melhoramento genético. 2. *Fusarium oxysporum*. 3.
Seleção de plantas - Melhoramento genético. 4. Feijão - Populações. I.
Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Programa
de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento. II. Título.

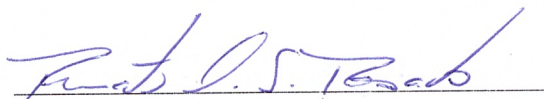
CDD 22. ed. 635.6522

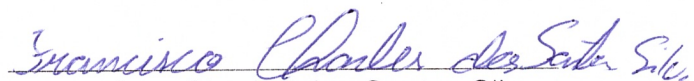
ADRIEL CARLOS DA SILVA

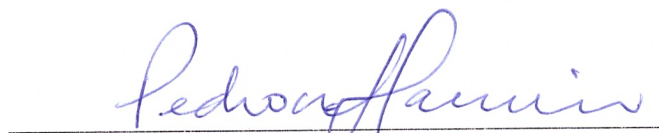
**ESCOLHA DE GENITORES E POPULAÇÕES DE FEIJOEIRO
COM ÊNFASE EM RESISTÊNCIA À MURCHA-DE-FUSÁRIO**

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: 25 de julho de 2018.


Renato Domiciano Silva Rosado


Francisco Charles dos Santos Silva


Pedro Crescêncio Souza Carneiro
(Coorientador)


José Eustáquio de Souza Carneiro
(Orientador)

A Deus, por Suas
Maravilhosas obras
em minha vida.

OFEREÇO

Aos meus pais, **José Carlos** e **Ivani**.

Ao meu irmão **Daniel**

Aos meus avós **João** e **Maria** (*in memoriam*),

Nazário (*in memoriam*) e **Eva**.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, pela Sua infinita graça, por me acompanhar e me guiar em todos os momentos da minha vida.

Aos meus pais José Carlos da Silva e Ivani Florez da Silva, pelo incondicional amor, apoio em todos os momentos, pelos preciosos ensinamentos da vida e por serem a inspiração que levo comigo todos os dias.

Ao meu irmão Daniel pela amizade e companheirismo em todos os momentos.

A todos os meus familiares pelo carinho.

À minha namorada Siliane pelo amor, carinho e suporte dedicados a mim durante esta etapa.

À Universidade Federal de Viçosa, ao programa de pós-graduação em genética e melhoramento pela estrutura e pela oportunidade de realizar o mestrado e a todos os professores envolvidos na genética e melhoramento.

Ao professor José Eustáquio de Souza Carneiro, pela orientação, pela amizade, pelos ensinamentos a mim transmitidos e pela orientação na condução dos experimentos.

Ao professor Pedro Crescêncio Souza Carneiro, pela coorientação, pela amizade, pelos ensinamentos a mim transmitidos e pela orientação nas análises aqui realizadas.

Ao Dr. Renato Domiciano Silva Rosado e ao Dr. Francisco Charles dos Santos Silva pela participação na banca e por suas valiosas contribuições a este trabalho.

Aos colegas do Programa Feijão, por toda ajuda na condução dos experimentos, pela amizade, convivência e oportunidade de aprender com todos.

Aos funcionários do laboratório: Pereira e Gilberto, e aos funcionários da estação experimental de Coimbra-MG: Sebastião, Beto, Carlinhos, Potoca, Nilson, Fonseca e Douglas, por todo auxílio na realização dos experimentos.

Aos funcionários da secretaria do PPGGM, Marco Tulio e Odilon, por toda a disponibilidade e assistência.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro com a concessão de bolsa de estudos.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho e para a minha formação profissional.

MUITO OBRIGADO!

BIOGRAFIA

ADRIEL CARLOS DA SILVA, filho de José Carlos da Silva e Ivani Florez da Silva, nasceu em Toledo, Paraná, em 17 de novembro de 1990.

Em fevereiro de 2006, iniciou o ensino médio no Colégio Estadual Presidente Castelo Branco em Toledo, Paraná, concluindo em 2008.

Em fevereiro de 2009 iniciou o curso de técnico em administração pelo Colégio Estadual Jardim Porto Alegre, obtendo o grau de Técnico em Administração em junho de 2010.

Em fevereiro de 2010 ingressou no curso de Agronomia na Pontifícia Universidade Católica do Paraná, realizando graduação sanduíche na universidade de Adelaide na Austrália no período de 2013 a 2014. Obteve o título de Engenheiro Agrônomo em janeiro de 2016.

Em agosto de 2016 ingressou no programa de Mestrado em Genética e Melhoramento da Universidade Federal de Viçosa, sob orientação do Professor José Eustáquio de Souza Carneiro e coorientação do Professor Pedro Crescêncio Souza Carneiro, submetendo-se à defesa da dissertação em 25 de Julho de 2018.

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	iii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	5
3.1.Cultura do feijoeiro	5
3.3.Melhoramento para resistência à murcha-de-fusário	8
3.4.Escolha de genitores e da população segregante	11
3.5.Seleção recorrente	15
4. MATERIAL E MÉTODOS	18
4.1.Material genético	18
4.2.Análises estatísticas	22
4.2.1. Análise dialélica	22
4.2.2. Potencial das populações segregantes (F4)	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5.1. Análise dialélica	26
5.2.Potencial das populações segregantes F4	42
6. CONCLUSÕES	49
7. REFERÊNCIAS	50

RESUMO

SILVA, Adriel Carlos da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2018. **Escolha de genitores e populações de feijoeiro com ênfase em resistência à murcha-de-fusário.** Orientador: José Eustáquio de Souza Carneiro. Coorientador: Pedro Crescêncio Souza Carneiro.

O objetivo deste trabalho foi escolher populações visando o melhoramento do feijoeiro para murcha-de-fusário, arquitetura de plantas e produtividade de grãos. Doze linhagens de feijão de grãos carioca, as quais diferem principalmente quanto à resistência a murcha-de-fusário e produtividade de grãos foram cruzadas em esquema de dialelo parcial 6x6. Os genitores e seus 36 híbridos F1's foram avaliados quanto à severidade da murcha-de-fusário causada pelo isolado FOP UFV 01 (SMF), arquitetura de plantas (ARQ) e produtividade de grãos (PROD). Trinta e quatro híbridos F1's foram avançados em bulk até a geração F4 e estas 34 populações F4, juntamente com os 12 genitores e mais três linhagens, também foram avaliados quanto a produtividade de grãos por parcela e produção de grãos por planta. Os dados dos genitores e híbridos F1's foram submetidos à análise dialélica adotando o modelo 2 de Griffing (1956) adaptado para dialelos parciais por Geraldi e Miranda Filho (1988). Com os dados de produção de plantas individuais, foi predito o potencial das 34 populações F4 em superar o cultivar BRS Pérola em 20% na produção de grãos pela metodologia de Jinks e Pooni (1976). Pela análise dialélica, as linhagens que se destacaram quanto a frequência de alelos favoráveis para a arquitetura de plantas foram VC 25 e BRSMG Uai, com predominância de genes dominantes e recessivos, presentes respectivamente nestas linhagens, determinando o fenótipo plantas mais eretas. A capacidade específica de combinação (CEC) para ARQ foi não significativa devido, possivelmente, à ocorrência de dominância bidirecional no controle desta característica, o que se traduziu em baixa eficiência desta análise em apontar a diversidade genética entre os genitores envolvidos no dialelo. Para SMF destacaram-se as linhagens BRSMG Talismã, CVIII 8511, BRS Pérola, VC 25 e VC 13. Houve predominância de genes dominantes envolvidos na resistência à murcha-de-fusário nestas linhagens, exceto para BRSMG Uai e IAC Formoso que apresentam predominância de genes recessivos. Para PROD houve predominância de genes dominantes determinando plantas mais produtivas, com destaque para a linhagem VC 25. As 20 populações F4 de maior potencial pela metodologia de Jinks e Pooni (1976) contemplaram 12

das 20 populações de maior potencial com base na análise dialélica para PROD. Assim, às estas 12 populações foram acrescentadas quatro que se destacaram apenas pela metodologia de Jinks e Pooni (1976) e quatro que se destacaram apenas com base nas informações da análise dialélica, totalizando 20 populações que constituirão a base para se dar início ao programa de seleção recorrente visando o melhoramento do feijoeiro para os caracteres arquitetura de plantas, produtividade de grãos e resistência à murcha-de-fusário. Nestas populações estão envolvidos todos os genitores que se destacaram para arquitetura de plantas e resistência à murcha-de-fusário pela análise dialélica. Assim, o uso de informações das populações em gerações mais avançadas de endogamia em complementariedade à análise dialélica é uma estratégia promissora, visando a escolha mais acurada daquelas populações de maior potencial no melhoramento do feijoeiro.

ABSTRACT

SILVA, Adriel Carlos da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2018. **Selection of common bean parents and populations with an emphasis on fusarium wilt resistance.** Advisor: José Eustáquio de Souza Carneiro. Co-advisor: Pedro Crescêncio Souza Carneiro.

The objective of this work was to select populations for the common bean improvement for fusarium wilt resistance, plant architecture and grain yield. Twelve carioca bean lines, which differ mainly in fusarium wilt resistance and grain yield, were crossed in a 6x6 partial diallel scheme. The parents and their 36 F1's hybrids were evaluated for fusarium wilt severity caused by FOP isolate UFV 01 (SMF), plant architecture (ARQ) and grain yield (PROD). Thirty-four F1's hybrids were carried out in bulk up to the F4 generation. These 34 F4's populations, more the 12 parents and three other lines were also evaluated for grain yield per plot and grain yield per plant. The data of F1's parents and hybrids were submitted to diallel analysis using Griffing's (1956) model 2, adapted for partial diallel by Geraldi and Miranda Filho (1988). Using the grain yield data per plant, the potential of the 34 F4's populations in overcoming the BRS Pérola cultivar in 20% of the grain yield was predicted by the method of Jinks and Pooni (1976). In the diallel analysis, the lines that stood out in terms of the frequency of favorable alleles for plant architecture were VC 25 and BRSMG Uai, with predominant dominant and recessive genes present, respectively, in these lines, determining the phenotype of the erect plants. The specific combining ability (CEC) for ARQ was not significant, possibly due to the occurrence of bidirectional dominance in the control of this characteristic, which translated into a low efficiency of this analysis in pointing out the genetic diversity among the parents involved in the diallel. For SMF, the lines BRSMG Talismã, CVIII 8511, BRS Pérola, VC 25 and VC 13 stood out. There was predominance of dominant genes involved in Fusarium wilt resistance in these lines, except for BRSMG Uai and IAC Formoso, which presented predominance of recessive genes. For PROD, there was a predominance of dominant genes determining more productive plants, particularly the VC 25 line. The 20 F4's populations with the highest potential by the Jinks and Pooni (1976) methodology included 12 of the 20 populations with the highest potential based on diallel analysis for PROD. Thus, to the 12 populations were added four that were highlighted only by the methodology of Jinks and Pooni (1976) and

four that stood out only based on the information of diallel analysis, resulting in 20 populations. These populations will be the starting point for the recurrent selection breeding program aiming at the improvement of common bean for the characteristics of plant architecture, grain yield and fusarium wilt resistance. In these populations are involved all the parents who stood out for plant architecture and fusarium wilt resistance by diallel analysis. Therefore, aiming at the more accurate selection of those populations with greater potential for bean breeding, the use of information from populations in more advanced generations of inbreeding in complementarity with those of diallel analysis is a promising strategy.

1. INTRODUÇÃO

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é hospedeiro de diversos fungos de parte aérea e sistema radical, sendo, atualmente, a murcha-de-fusário uma das principais doenças que acometem a cultura (PASTOR-CORRALES e ABAWI, 1987; RAMALHO et al., 2012a). A murcha-de-fusário no feijão-comum é causada por um fungo de solo, *Fusarium oxysporum* f.sp. *phaseoli*, que coloniza o sistema vascular da planta e dependendo das condições climáticas, concentração do inóculo e condições de estresse, pode causar perdas que variam de 30 a 80% no rendimento de grãos (CRAMER et al., 2003; SCHWARTZ, FRANC e KERR, 1996). Para a murcha-de-fusário o controle químico é pouco eficiente e não recomendado, sendo o desenvolvimento de cultivares resistentes a alternativa de controle mais eficiente e recomendada.

Além da resistência a doenças, outros caracteres como arquitetura de plantas e produtividade grãos também são alvos dos melhoristas do feijão-comum. No melhoramento de múltiplos caracteres, a estratégia de seleção recorrente tem se destacado com resultados satisfatórios (CARGNIN, 2007; RAMALHO et al., 2012b). Para o desenvolvimento de um programa de seleção recorrente eficiente algumas etapas são importantes, como a escolha dos genitores a serem envolvidos nos cruzamentos para a obtenção de populações segregantes de elevado potencial, o método de condução destas populações à homozigose para a extração de linhagens superiores, bem como a estratégia de seleção utilizada. Nesse sentido, a escolha criteriosa dos genitores visando a obtenção das populações segregantes (populações base para o programa de

seleção recorrente) é fundamental, pois o sucesso das etapas subsequentes é dependente da eficácia desta escolha.

Em programas de melhoramento do feijoeiro, vários trabalhos (DA ROCHA et al., 2014; KUREK et al., 2001; MENDES et al., 2009; MOURA et al., 2016; SILVA et al., 2013b) têm relatado eficiência na escolha de genitores utilizando os cruzamentos dialélicos, em especial os parciais (MENDES et al., 2009; MOURA et al., 2016; SILVA et al., 2013b). A partir das análises dialélicas estimam-se os efeitos da capacidade geral e específica de combinação dos genitores envolvidos no dialelo, os quais informam, respectivamente, sobre a frequência de alelos favoráveis presentes nos genitores e sua diversidade genética. Segundo Cruz, Regazzi e Carneiro (2012) a capacidade geral de combinação (CGC) é função dos efeitos aditivos dos genes envolvidos no controle genético da característica em análise e a capacidade específica de combinação (CEC) são medidas dos efeitos gênicos não aditivos, sendo estimada como o desvio do comportamento do híbrido em relação ao esperado com base na CGC de seus genitores.

Ressalta-se que a diversidade genética estimada pela CEC é função apenas dos locos com genes que exibem dominância. Além disso, se no controle da característica em análise estiver envolvido tanto genes com desvios de dominância positivos e outros com desvios negativos (dominância bidirecional) e a frequência dos alelos em cada loco no dialelo for diferente de 0,5, as estimativas de CGC podem ser viesadas, dependendo neste caso também destes desvios de dominância (CRUZ e VENCOSKY, 1989). Isto compromete também as estimativas da CEC, uma vez que é estimada como o desvio do comportamento do híbrido em relação ao esperado com base na

CGC, e, conseqüentemente, também compromete a escolha acurada de genitores visando a obtenção de populações segregantes com potencial para serem utilizadas em programas de seleção recorrente.

A escolha de populações segregantes em gerações avançadas de endogamia pela metodologia de Jinks e Pooni (1976) tem sido empregada no melhoramento do feijão-comum (ABREU, RAMALHO e SANTOS, 2002; CARNEIRO et al., 2002; MENDONÇA, SANTOS e RAMALHO, 2002; ROCHA et al., 2013). A metodologia de Jinks e Pooni (1976) estima a probabilidade de se obter linhagens na F_{∞} que superem um determinado padrão, baseando-se no desempenho e variabilidade das populações segregantes.

Neste contexto, as populações segregantes obtidas a partir dos cruzamentos dialélicos, avaliadas em gerações mais avançadas de endogamia, podem fornecer informações auxiliares às dos dialelos na escolha mais acertada dos genitores em programas de melhoramento, pois nestas populações a variabilidade tanto de genes com desvios de dominância positivos, negativos e nulos pode ser melhor quantificada.

Não havendo muitos relatos da utilização da seleção recorrente para o melhoramento do feijoeiro-comum quanto a resistência à murcha-de-fusário, enfatiza-se a necessidade do estabelecimento de um programa de seleção recorrente para a obtenção de indivíduos superiores, quanto à produtividade de grãos e resistência à murcha-de-fusário.

2. OBJETIVO

Escolher populações visando o melhoramento do feijoeiro para murcha-de-fusário, arquitetura de plantas e produtividade de grãos, baseando-se em

informações dialélicas de 12 linhagens e de suas populações segregantes na terceira geração de endogamia.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Cultura do feijoeiro

O feijoeiro-comum é uma planta da família Fabaceae, possui porte herbáceo e é reconhecida como a leguminosa de maior importância na alimentação humana no mundo, isso por ser uma excelente fonte de vitaminas, minerais, proteínas, carboidratos e fibras (BORÉM e CARNEIRO, 2015; MESQUITA et al., 2007; TOLEDO et al., 2013).

Com o consumo *per capita* de aproximadamente 18 kg ano⁻¹ (BORÉM e CARNEIRO, 2015), o Brasil está entre os maiores produtores e consumidores de feijão do mundo (CONAB, 2018; FAO 2017). A cultura do feijoeiro ocupa destaque na produção nacional, com a quarta maior área colhida, ficando atrás somente da soja, milho e cana-de-açúcar (CONAB, 2018; IBGE, 2018).

No ano de 2016, segundo dados da EMBRAPA Arroz e Feijão (2018), a produção de feijão-comum no Brasil foi de 2.246.082 toneladas em uma área total de 1.558.911 hectares. O Paraná é o estado com a maior produção nacional, seguido por Minas Gerais, em que os dois juntos responderam por aproximadamente 50% da produção total de grãos no ano de 2016, com médias de produtividade de 1.524 e 1.610 kg ha⁻¹, respectivamente (EMBRAPA Arroz e Feijão, 2018). A média de produtividade em nível nacional, 1.441 kg ha⁻¹, se mostra menor, uma vez que a maior parte do feijão é cultivado por pequenos e médios agricultores (VIEIRA et al., 2005). Todavia, agricultores utilizando altos níveis tecnológicos já ultrapassaram os 3.000 kg ha⁻¹ (BORÉM e CARNEIRO, 2015).

O cultivo do feijão-comum no Brasil se dá em três safras, a primeira safra sendo a “safra das águas” com plantio de agosto a novembro e colheita de novembro a fevereiro, a segunda safra sendo a “safra da seca” com plantio de dezembro a março e colheita de março a junho, e a terceira safra sendo a “safra de inverno” com plantio de abril a julho e colheita de julho a outubro (BORÉM e CARNEIRO, 2015; WANDER, 2007).

Dentre as variações de grãos do feijão-comum no grupo de grãos pequenos, o tipo carioca é o que mais se destaca, alcançando aproximadamente 70% da produção nacional da espécie (BORÉM e CARNEIRO, 2015; MELO et al., 2010).

3.2. Murcha-de-fusário na cultura do feijoeiro

Nos últimos 20 anos a cultura do feijão apresentou grande evolução em produtividade e em área cultivada, especialmente sob irrigação, o que aliada ao plantio sucessivo proporcionou condições favoráveis para uma maior incidência de doenças. Segundo Vieira (1983), o feijão-comum é suscetível a diversas doenças de ocorrência em todo território nacional, dentre as quais, doenças causadas por fungos estão entre as mais importantes.

O feijoeiro-comum é hospedeiro de diversos fungos de parte aérea e sistema radical, sendo o *Fusarium oxysporum* o responsável por causar murchas vasculares, dentre elas a murcha-de-fusário do feijoeiro, uma das principais doenças do feijoeiro-comum (PASTOR-CORRALES e ABAWI, 1987; RAMALHO et al., 2012a).

A murcha-de-fusário no feijão-comum é causada por um patógeno de solo, *Fusarium oxysporum* f.sp. *phaseoli*, que coloniza o sistema vascular da planta, tendo como principais sintomas a perda de turgescência, amarelecimento, seca e queda progressiva das folhas inferiores para as superiores, e quando a doença atinge plântulas, estas não exibem desenvolvimento normal, apresentando nanismo quando adultas (ABAWI, 1994; BIANCHINI, MARINGONI e CARNEIRO, 1997). Dependendo das condições climáticas, concentração do inóculo e condições de estresse, pode causar perdas que variam de 30 a 80% no rendimento de grãos (CRAMER et al., 2003; SCHWARTZ, FRANC e KERR, 1996)

A murcha-de-fusário foi observada pela primeira vez no feijoeiro-comum na Califórnia, EUA, em 1928; pela primeira vez no Brasil em 1966, no estado de São Paulo; e no estado de Minas Gerais em 1983. Nota-se também que a sua ocorrência está amplamente relacionada com a distribuição da cultura, sendo presente em todas as regiões de cultivo do feijão-comum (ABAWI, 1994; CARDOSO, KIMATE e FERNANDES, 1966; ZAMBOLIM et al., 1987). Segundo Henrique et al. (2015), existem 7 diferentes raças patogênicas, que se distribuem geograficamente entre os continentes, sendo os isolados brasileiros pertencentes à raça 2. Entretanto, o isolado FOP UFV 01, oriundo de Coimbra, MG, foi considerado uma nova raça da espécie por Pereira (2013).

A importância da murcha-de-fusário tem crescido na cultura do feijoeiro uma vez que a sua ocorrência e severidade tem aumentado. Este fato está associado principalmente aos poucos cuidados despendidos em métodos de prevenção e controle, ocorrendo primariamente com a utilização de grãos oriundos de áreas infectadas como semente, bem como o ato de compartilhar

equipamentos agrícolas. Estas práticas são comuns entre pequenos e médios produtores, favorecendo a dispersão do inóculo da doença de áreas infestadas para áreas saudas (ABAWI, 1994; SARTORATO e RAVA, 1994).

Após introduzido no solo o *Fusarium oxysporum* pode permanecer por longos períodos na forma de micélio em restos culturais ou como clamidósporos dificultando o controle da doença, dada a inexistência de controle químico eficaz. Desse modo, é necessária a obtenção de cultivares resistentes, sendo esta a principal alternativa no controle da doença, além de que é de fácil adesão do produtor rural (CROSS et al., 2000; GONÇALVES-VIDIGAL et al., 2013; PEREIRA, 2007; PEREIRA et al., 2012; PAULA JUNIOR et al., 2015; SARTORATO e RAVA, 1994).

3.3. Melhoramento para resistência à murcha-de-fusário

Atualmente no Brasil, o melhoramento do feijoeiro-comum vem sendo realizado basicamente por instituições públicas, sendo as principais a Embrapa Arroz e Feijão, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) e as Universidades Federais de Lavras (UFLA), Universidade Federal de Viçosa (UFV), entre outras (PAULA JUNIOR e WENDLAND, 2012; VIEIRA et al., 2005).

A obtenção de cultivares resistentes é a principal alternativa de controle de doenças dentre várias outras, sendo um dos principais focos em muitos programas de melhoramento no Brasil e no mundo (PEREIRA, 2007; PEREIRA, RAMALHO e ABREU, 2011; RAMALHO e ABREU, 2015). O principal objetivo do melhoramento visando a resistência à doenças é a

obtenção de cultivares com resistência durável, características agronômicas aceitáveis e que supere os cultivares comerciais já existentes (PEREIRA et al., 2012; RAMALHO e ABREU, 2015). Além da resistência a doenças, caracteres como produtividade grãos e arquitetura de plantas possuem elevada importância no melhoramento do feijão-comum, pois plantas de arquitetura mais ereta facilitam os tratos culturais, a colheita mecanizada, reduz a incidência de doenças e possibilitam a obtenção de grãos de melhor qualidade (PIRES et al., 2014).

Três etapas são essenciais 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, RAMALHO e ABREU, 2008). Para tal, deve se levar em conta o 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).

Considerando que a ocorrência da murcha-de-fusário está amplamente relacionada com a distribuição da cultura do feijoeiro-comum, mesmo não sendo conduzido programas de melhoramento com o foco em selecionar cultivares resistentes para este patógeno por muitos anos no Brasil, diversas linhagens atualmente cultivadas apresentam alguma resistência ao Fop (*Fusarium oxysporum* f.sp. *phaseoli*). Isto ocorre pelo fato da murcha-de-fusário reduzir drasticamente a capacidade de produção de grãos das plantas afetadas. As que resistem, acabam sendo selecionadas “inconscientemente”

por programas de melhoramento buscando maior produtividade, ou mesmo por agricultores no ato de reutilizar seus grãos como sementes, selecionando indiretamente indivíduos resistentes (BOLKAN, 1980; CARDOSO et al., 1966; CLARKSON, 1978; LASCA, 1978; MENEZES et al., 1981; NEERGAARD, 1979; WINTER, MOTHER e NEERGAARD, 1974; PEREIRA, RAMALHO e ABREU, 2011; RAMALHO e ABREU, 2015; ZAUMEYER e THOMAS, 1957).

Dependendo do número de genes envolvidos na resistência, as variações fenotípicas observadas em uma população segregante podem apresentar distribuição contínua ou discreta. Apresentam distribuição discreta quando a herança do caráter é monogênica ou oligogênica, seu estudo é relativamente fácil assim como a sua incorporação em cultivares adaptados e conferem alto grau de resistência, ficando em desvantagem somente em relação a sua durabilidade quando o patógeno em questão possui alto potencial evolutivo (BORÉM e MIRANDA, 2013; LOPES e BOITEUX, 2012). Apresentam distribuição contínua quando a herança do caráter é controlada por poligenes, não apresentam alto grau de resistência quando comparado com a herança oligogênica, entretanto a sua proteção é durável e efetiva contra diferentes variações do patógeno (LOPES e BOITEUX, 2012).

Diversos trabalhos estudaram o controle genético da murcha-de-fusário do feijoeiro e em sua grande maioria, constataram distribuição discreta, com o controle da resistência determinado por poucos genes (BATISTA et al., 2017; CÂNDIDA et al., 2009; CROSS et al., 2000; FALL et al., 2001; PEREIRA, RAMALHO e ABREU, 2011; RIBEIRO e HAGEDORN, 1979; SALGADO, SCHWARTZ e BRICK, 1995). Musoni et al. (2010) verificaram que o controle genético é determinado por um único gene principal.

3.4. Escolha de genitores e da população segregante

De modo geral, a principal alternativa utilizada pelos melhoristas para gerar variabilidade é a hibridação, reunindo alelos de interesse de dois ou mais genitores em uma população segregante, o que favorece a obtenção de linhagens com a combinação dos caracteres desejáveis (RAMALHO et al., 2012b). Porém, dependendo do número de genitores empregados nos cruzamentos, o número de populações segregantes gerado pode ser grande, inviabilizando a condução de todas estas populações. Assim, 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 melhores que as existentes, evitando perda de tempo e de recursos financeiros (RAMALHO et al., 2012b).

Segundo Baenzinger e Peterson (1991), os métodos de seleção de populações segregantes são separados em duas classes, os que utilizam apenas as informações dos genitores e os que levam em conta as informações de seus descendentes. Considerando apenas os que utilizam o comportamento das progênes, os cruzamentos dialélicos, estimativa de $m + a$ e d e a metodologia de Jinks e Pooni (1976) são os métodos que mais têm sido utilizados (RAMALHO et al., 2012b; RAMALHO e LAMBERT, 2004).

Para favorecer o sucesso da estratégia escolhida, é de fundamental importância a precisa escolha dos genitores a serem cruzados. Desse modo, destacam-se os cruzamentos dialélicos, permitindo estimar a capacidade geral e específica de combinação dos genitores, bem como determinar o controle genético predominante do caráter em questão. Entre as metodologias mais utilizadas está a proposta por Griffing (1956), na qual são estimados os efeitos

e as somas de quadrados dos efeitos da capacidade geral e específica de combinação. As estimativas de capacidade geral de combinação (CGC) fornecem informações sobre a concentração de genes com efeito predominantemente aditivos em seus efeitos. As altas estimativas dos efeitos de capacidade geral de combinação de cada um dos genitores em cada um dos grupos ($\hat{g}_i$ e $\hat{g}_j$), positivas ou negativas, indicam que o valor da CGC do progenitor difere da média geral dos cruzamentos dialélicos, sendo o progenitor em questão, muito superior ou inferior aos demais progenitores incluídos no dialelo (CRUZ, REGAZZI e CARNEIRO, 2012).

O efeito da capacidade específica de combinação (CEC) dos híbridos, estimados como o desvio do comportamento de cada híbrido em relação ao esperado com base na CGC de seus genitores, são medidas dos efeitos gênicos não aditivos (CRUZ, REGAZZI e CARNEIRO, 2012). Altas estimativas da capacidade específica de combinação dos híbridos ($\hat{s}_{ij}$), positivas ou negativas, indicam que um cruzamento em particular é relativamente melhor ou pior do que o esperado com base na CGC dos progenitores, evidenciando a importância dos genes que exibem efeitos não aditivos (CRUZ e VENCOSKY, 1989), ou seja, genes com desvios de dominância positivos ou negativos envolvidos no controle do caráter. Por outro lado, valores de CEC próximos a zero indicam que o desempenho do híbrido ocorreu conforme o esperado com base na CGC ou que predomina genes de efeitos predominante aditivos envolvidos no controle do caráter em questão. Valores de CEC próximos de zero também podem resultar de dominância bidirecional, ou seja, tanto genes com desvios de dominância positivos quanto negativos estão envolvidos no controle do caráter.

Para que os híbridos sejam promissores em produzir populações segregantes de elevado potencial, além de apresentarem em sua genealogia pelo menos um genitor com elevada CGC, devem apresentar elevados efeitos (positivos ou negativos, dependendo da característica em questão) de CEC, ou seja, provenientes do cruzamento entre genitores divergentes (CRUZ e VENCOVSKY, 1989). Segundo estes mesmos autores, as estimativas de capacidade específica de combinação dos genitores do grupo 1 ($\hat{s}_{ii}$) e do grupo 2 ($\hat{s}_{jj}$) com eles mesmos, têm grande significado genético, sendo indicadores dos desvios de dominância dos genes envolvidos no controle do caráter em análise. Quando seu sinal é negativo indica que o genitor tem predominância de genes com desvios de dominância positivos envolvidos no controle do caráter, e positivo para genes com desvios de dominância negativos. Estes autores também relatam que magnitude do $\hat{s}_{ii}$ é indicativo de heterose varietal e seu somatório é indicativo da heterose média, o que permite inferir sobre a divergência genética de um dado genitor em relação à média dos outros genitores avaliados no dialelo.

Segundo Falconer (1960), considerando o modelo aditivo dominante, os valores devido à dominância dos genótipos homozigotos dominante e recessivo são dados por $-2q^2d$ e $-2p^2d$, respectivamente, em que p e q são as frequências dos alelos dominante e recessivo envolvidos no controle do caráter considerado. Estes valores surgem em função da codificação para a média da população que pertencem os genótipos. Biologicamente, estes valores não fariam sentido, ou seja, não existe interação entre os dois alelos dominantes ou entre os dois alelos recessivos de um mesmo gene em um dado genótipo. O mesmo acontece com as estimativas de capacidade específica de combinação

dos genitores com eles mesmos em um dialelo, que também são funções destes valores, uma vez que os efeitos de CGC também são codificados para a média geral do dialelo. Assim, é fácil perceber por que valores negativos de $\hat{s}_{ii}$, ou $\hat{s}_{jj}$, em um dialelo são devidos a genes com desvios de dominância positivos e valores positivos de $\hat{s}_{ii}$, ou $\hat{s}_{jj}$, devido a genes com desvio de dominância negativos envolvidos no controle do caráter em análise.

Cabe ressaltar que desvios de dominância positivos indica que os alelos dominantes estão relacionados ao maior valor da característica e que os alelos recessivos aos menores valores da característica e, vice-versa, para os desvios de dominância negativos. Assim, genitores com elevados valores de capacidade específica de combinação dele com ele mesmo de sinal negativo indica que o genitor possui elevada frequência de genes dominantes envolvidos no maior valor da característica e quando positivos indica que o genitor possui elevada frequência de genes recessivos relacionados ao maior valor da característica.

Os dialelos parciais, adaptados por Geraldi e Miranda Filho (1988) do modelo 2 de Griffing (1956) permite estimar valores de $\hat{s}_{ii}$ e $\hat{s}_{jj}$, referentes à capacidade específica de uma variedade com ela mesma e, como relatado por Cruz e Vencovsky (1989), que tem grande significado genético. A análise dialélica vem sendo utilizada em várias espécies autógamas, como feijão-comum (SILVA et al., 2013a; VALE et al., 2015; MOURA et al., 2016), arroz (TORRES e GERALDI, 2007), aveia (RIBEIRO et al., 2011) e trigo (PIMENTEL et al., 2013; KHAN, 2016).

A escolha da população segregante é de suma importância no processo de seleção e, conseqüentemente, importante na condução de um programa de

melhoramento. A sua performance média e a sua variabilidade genética são parâmetros de suma importância, sendo ideal que a população segregante possua média alta e variabilidade genética suficiente para praticar seleção de linhagens superiores aos pais (RAMALHO, DOS SANTOS e ZIMERMANN, 1993; SANTOS, SOARES e RAMALHO, 2001).

Uma das metodologias que se destaca no auxílio aos melhoristas na escolha de populações segregantes é a metodologia de Jinks e Pooni (1976), que estima a probabilidade de se obter linhagens na F_{∞} que superem um determinado padrão. Ela se baseia no desempenho e variabilidade das populações segregantes, avaliando plantas individuais dentro de cada população, fazendo-se suficiente, a avaliação de apenas uma geração. A metodologia de Jinks e Pooni (1976) tem sido empregada no melhoramento de culturas autógamas como o feijão-comum (ABREU, RAMALHO e SANTOS, 2002; CARNEIRO et al., 2002; MENDONÇA, SANTOS e RAMALHO, 2002; ROCHA et al., 2013), arroz (SANTOS, SOARES e RAMALHO, 2001), trigo (PIMENTEL et al., 2013) e soja (TRILLER e TOLEDO, 1996).

3.5. Seleção recorrente

Com o objetivo de combinar todos os alelos favoráveis em uma única linhagem, um método de melhoramento utilizado com eficiência é a seleção recorrente. Ela consiste em um processo cíclico e sistemático de melhoramento que envolve a obtenção de uma população base (C_0) e subsequente avaliação, seleção e recombinação das melhores progênies para formar uma nova população, de onde se inicia um novo ciclo. Tem como objetivo aumentar

gradativamente a frequência de alelos desejáveis para as características de interesse na população, facilitando a obtenção de um indivíduo superior (GERALDI, 2005; RAMALHO, 1996; RAMALHO et al., 2012b; RAMALHO e ABREU, 2015).

A probabilidade de obtenção de um indivíduo reunindo todos os alelos favoráveis cai a cada geração que é avançada, isso devido a estrutura genética das plantas autógamas, onde após cada autofecundação a frequência dos genótipos heterozigotos cai pela metade. Visto que a avaliação de um grande número de plantas torna-se impraticável, a condução de sucessivos ciclos de seleção e recombinação tende a acumular fenótipos desejáveis de caracteres de interesse gradativamente na população, facilitando a obtenção de um indivíduo superior (RAMALHO, 1996; RAMALHO et al., 2012b).

Ramalho et al. (2012b) sugere que as hibridações sejam realizadas de forma direcionada e simultânea ao processo de seleção em programas de seleção recorrente com plantas autógamas. Uma estratégia proposta por Bearzoti (1997) é a realização dos cruzamentos em esquema de dialelo circulante, onde cada genitor, ou população, participa de dois cruzamentos em cada ciclo de seleção. Logo, cruzamentos direcionados, no modelo de dialelo circulante, permitem que a contribuição de cada genitor seja a mesma nos sucessivos ciclos de intercruzamentos, além de que o número de genitores na genealogia de uma determinada população aumenta ao longo dos ciclos de recombinação (GERALDI, 2005; RAMALHO, 1996; RAMALHO et al., 2012b).

A seleção recorrente vem sendo empregada com sucesso no melhoramento do feijoeiro-comum (AMARO et al., 2007; MENEZES JÚNIOR, RAMALHO e ABREU, 2008; RAMALHO, ABREU e SANTOS, 2003;

RAMALHO, ABREU e SANTOS, 2005; SILVA et al., 2010; SINGH et al., 1999), não havendo, no entanto, muitos relatos de sua utilização para o melhoramento do feijoeiro quanto a resistência à murcha-de-fusário, o que enfatiza a necessidade de estabelecimento de um programa de seleção recorrente para a obtenção de indivíduos superiores, quanto a produtividade de grãos e resistência a murcha-de-fusário.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Material genético

Neste trabalho foram utilizadas 12 linhagens de feijão de grãos carioca, as quais diferem principalmente quanto à resistência a murcha-de-fusário e produtividade de grãos (Tabela 1). Estes genitores foram cruzados em esquema de dialelo parcial 6x6. Os seis genitores (MAI 1813, BRS Estilo, VC 13, VC 28, VC 25 e IAC Formoso) compuseram o grupo 1, enquanto as outras seis linhagens (BRSMG Talismã, RC-I-8, BRSMG Uai, CVIII 8511, CNFC 11965, BRS Pérola) o grupo 2 (Tabela 1).

Tabela 1. Origem e principais caracteres de interesse dos doze genitores de feijoeiro utilizados no dialelo parcial

Genitores	Origem	Característica de Interesse
Grupo 1		
BRSMG Talismã	UFL A ^a	Resistência a Fop
RC I-8	UFL A	Resistência a Fop
BRSMG UAI	UFLA	Porte Ereto e Produtividade de Grãos e Resistência a Fop
CVIII 8511	UFL A	
CNFC 11965	Embrapa ^b	Resistência a Fop
BRS Pérola	Embrapa	Resistência a Fop
Grupo 2		
MAI 1813	UFLA	Resistência a mancha angular
BRS Estilo	Embrapa	Porte Ereto e Produtividade de Grãos
VC 13	UFV ^c	
VC 28	UFV	Produtividade de Grãos
VC 25	UFV	Produtividade de Grãos
IAC Formoso	IAC ^d	Produtividade de Grãos

^a Universidade Federal de Lavras; ^b Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; ^c Universidade Federal de Viçosa; ^d Instituto Agrônomo de Campinas.

As hibridações foram realizadas em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV) em 2013 e obtidas as sementes F1's. Estas sementes foram utilizadas em dois experimentos, um em campo e outro em casa de vegetação.

Para o primeiro experimento, sementes dos genitores e das 36 combinações híbridas, totalizando 48 tratamentos, foram semeadas em campo na safra de seca/2014, na estação experimental de Coimbra, em Coimbra-MG, pertencente ao Departamento de Fitotecnia da UFV, situada a 690 metros de altitude, 20°45'S de latitude e 42°51'W de longitude. Foi utilizado o delineamento de blocos casualizados com três repetições. As parcelas foram constituídas de duas linhas de 1,5 metros (m) de comprimento, com densidade de plantio de 12 sementes por metro e espaçamento entre linhas de 0,50 m. Os tratos culturais adotados foram os recomendados para a cultura do feijoeiro na região. Neste experimento foram avaliadas em nível de parcelas as características arquitetura de plantas (ARQ) e a produtividade de grãos (PROD).

A arquitetura de plantas foi avaliada por meio de escala de notas proposta por Collicchio (1995). Esta escala varia de 1 a 5, em que: nota 1 refere-se à planta do tipo II, ereta, com uma haste e inserção alta das primeiras vagens; nota 2, à planta do tipo II, ereta e com algumas ramificações; nota 3, à planta do tipo II ou III, ereta e com muitas ramificações e tendência a prostrar-se; nota 4 à planta do tipo III, semi-ereta e medianamente prostrada; e nota 5, à planta do tipo III, com entrenós muito longos e muito prostrada. A colheita foi realizada manualmente e na sequência as parcelas foram trilhadas, pesadas e obtida a produtividade de grãos em kg ha⁻¹.

A outra parte das sementes F1's juntamente com os 12 genitores foram avaliados em casa de vegetação quanto a reação à murcha-de-fusário, também totalizando 48 tratamentos. Neste caso, o delineamento experimental

utilizado foi o inteiramente ao acaso, com três repetições, e parcelas de um vaso com três plantas.

A metodologia de inoculação utilizada foi a de imersão de raízes em suspensão de conídios proposta por Pastor-Corrales e Abawi (1987). Sendo a semeadura dos genótipos realizada em bandejas de isopor de 128 células com substrato para hortaliças Topstrato® e mantidas em casa de vegetação. No estágio V2, as plântulas foram retiradas das bandejas, tendo suas raízes lavadas e 1/3 do comprimento cortadas. Imediatamente após o corte, as raízes foram imersas na suspensão de macro e microconídios do isolado FOP UFV 01 durante 5 min. Após este procedimento, as plântulas foram transplantadas para vasos plásticos contendo 2,5 L de substrato Topstrato® e mantidas em casa de vegetação a 25°C ± 4°C.

A avaliação da severidade da murcha-de-fusário (SMF) foi realizada aos 21 dias após a inoculação (DAI) conforme a escala de notas apresentada na Tabela 2, metodologia proposta por Pastor-Corrales e Abawi (1987).

Tabela 2. Escala de avaliação conforme Pastor-Corrales e Abawi (1987) para diferenciação quanto aos níveis de infecção de doença

Nota Atribuída	Características Avaliadas
Nota 1	Nenhum sintoma visível
Nota 3	1 a 10% de folhas sintomáticas
Nota 5	11 a 25% de folhas sintomáticas
Nota 7	26 a 50% de folhas sintomáticas
Nota 9	Planta morta ou severamente infectada

As sementes das plantas F1's colhidas no experimento de campo foram multiplicadas e, na sequência, 34 das 36 populações F2 foram avançadas em bulk até a geração F4 (Tabela 3). Essas 34 populações, os 12 genitores e mais 3 linhagens, uma delas a cultivar suscetível do grupo comercial preto (Meia-

noite), totalizando 49 tratamentos foram avaliados em delineamento látice triplo 7x7, sendo conduzido na Estação Experimental da Universidade Federal de Viçosa, em Coimbra, MG, na safra de inverno/2017. Utilizou-se parcelas constituídas por quatro linhas de quatro metros, espaçadas a 0,50m e com densidade de plantio de 15 sementes por metro. O manejo e os tratos culturais, como adubação e controle de pragas, foram de acordo com as recomendações técnicas para a cultura do feijoeiro na região.

Tabela 3. Procedência das 36 populações (Pop) obtidas pelo cruzamento entre os dois grupos de genitores em esquema de dialelo parcial 6 x 6.

Pop	Genitores	Pop	Genitores
1	BRSMG Talismã / MAI 1813	19	CVIII 8511 / MAI 1813
2	BRSMG Talismã / BRS Estilo	20	CVIII 8511 / BRS Estilo
3	BRSMG Talismã / VC 13	21	CVIII 8511 / VC 13
4	BRSMG Talismã / VC 28	22	CVIII 8511 / VC 28
5	BRSMG Talismã / VC 25	23	CVIII 8511 / VC 25
6	BRSMG Talismã / IAC Formoso	24	CVIII 8511 / IAC Formoso
7	RC I-8 / MAI 1813	25	CNFC 11965 / MAI 1813
8	RC I-8 / BRS Estilo	26	CNFC 11965 / BRS Estilo
9	RC I-8 / VC 13	27	CNFC 11965 / VC 13
10	RC I-8 / VC 28	28	CNFC 11965 / VC 28
11	RC I-8 / VC 25	29	CNFC 11965 / VC 25
12	RC I-8 / IAC Formoso	30	CNFC 11965 / IAC Formoso
13	BRSMG Uai / MAI 1813	31	BRS Pérola / MAI 1813
14	BRSMG Uai / BRS Estilo	32	BRS Pérola / BRS Estilo
15	BRSMG Uai / VC 13	33	BRS Pérola / VC 13
16	BRSMG Uai / VC 28	34	BRS Pérola / VC 28
17	BRSMG Uai / VC 25	35	BRS Pérola / VC 25
18	BRSMG Uai / IAC Formoso	36	BRS Pérola / IAC Formoso

Após a colheita, foram obtidos dados de plantas individuais de trinta (30) plantas tomadas de forma aleatória de uma das duas linhas centrais de cada parcela, as quais foram debulhadas individualmente para aferir a produção de grãos por planta (PG), em gramas (g planta^{-1}). Também foi obtida a

produtividade de grãos (PROD), em kg ha⁻¹, a partir dos dados das duas linhas centrais de cada parcela.

4.2. Análises estatísticas

4.2.1. Análise dialélica

Para a análise dialélica da arquitetura de plantas (ARQ), severidade da murcha-de-fusário (SMF) e produtividade de grãos (PROD), dos genitores e híbridos F1's, utilizou-se o software Genes Cruz (2013), sendo adotado o modelo 2 segundo Griffing (1956) adaptado para dialelos parciais por Geraldi e Miranda Filho (1988), conforme modelo a seguir:

$$Y_{ij} = \mu + \frac{1}{2}(d_1 + d_2) + g_i + g'_j + S_{ij} + \bar{\varepsilon}_{ij}$$

em que: Y_{ij} : média do cruzamento envolvendo o i-ésimo progenitor do grupo 1 e o j-ésimo progenitor do grupo 2; Y_{i0} : média do i-ésimo progenitor do grupo 1 ($i = 0, 1, \dots, p$); Y_{0j} : média do j-ésimo progenitor do grupo 2 ($j = 0, 1, \dots, q$); μ : média geral do dialelo; d_1, d_2 : contrastes envolvendo médias dos grupos 1 e 2 e a média geral; g_i : efeito da capacidade geral de combinação do i-ésimo progenitor do grupo 1; g'_j : efeito da capacidade geral de combinação do j-ésimo progenitor do grupo 2; S_{ij} : efeito da capacidade específica de combinação entre progenitores de ordem i e j, dos grupos 1 e 2, respectivamente e $\bar{\varepsilon}_{ij}$: erro experimental médio.

4.2.2. Potencial das populações segregantes (F4)

Os dados de produtividade de grãos por parcela (PROD) das 34 populações F4 e três linhagens foram submetidos à análise de variância, segundo o modelo apresentado a seguir, considerando os efeitos de blocos e o erro como aleatórios, e os efeitos de média, repetição e tratamento como fixos.

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_j + \tau_i + b_{k(j)} + e_{ijk}$$

em que: Y_{ijk} : observação referente ao tratamento i , na repetição j e no bloco k ; μ : é uma constante geral; β_j : efeito de repetição j ($j = 1, 2$ e 3); τ_i : efeito de tratamento i ($i = 1, 2, \dots, 49$); $b_{k(j)}$: efeito de bloco k ($k = 1, 2, \dots, 7$) dentro da repetição j ; e_{ijk} : erro experimental médio associado a observação Y_{ijk} .

Na predição do potencial das populações segregantes foram utilizados os dados individuais das 90 plantas de cada população segregante em F4 (PG) a partir da metodologia de Jinks e Pooni (1976). Por este método estima-se a probabilidade da população em questão originar linhagens que superem um determinado padrão, que no caso foi a cultivar BRS Pérola.

Na metodologia de Jinks e Pooni (1976), os valores fenotípicos de linhagens F_∞ , oriundas de cruzamentos biparentais homozigóticos, seguem uma distribuição normal. Desse modo, baseando-se na média e variância das populações segregantes, é possível estimar a probabilidade de cada população em produzir linhagens que superem o padrão (PSP). Essa probabilidade correspondente a área à direita de um determinado valor de μ na abscissa da distribuição normal. Tal área é calculada utilizando as propriedades de uma

distribuição normal padronizada estimando a variável Z pela seguinte expressão:

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

em que μ corresponde à média do cultivar padrão (BRS Pérola) acrescida de 20%. F_{ni} é a média das plantas de cada população F4, que, em um modelo sem dominância, corresponde à média de todas as possíveis linhagens na geração F_{∞} , uma vez que conduzidas na ausência de seleção. Nesse procedimento, a variância genética ($\hat{\sigma}_G^2$) de dada população “i” é estimada pela seguinte expressão:

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

em que $\hat{\sigma}_{G_i}^2$ é a variância genética presente na população i; $\hat{\sigma}_{F_i}^2$ é a variância fenotípica observada na população i, obtida pela média aritmética das variâncias das populações nas três repetições; e $\hat{\sigma}_E^2$ 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 Meia Noite. Considerou-se que a variância ambiental dentro de populações é semelhante à variância ambiental entre plantas dentro das testemunhas. Si é a estimativa do desvio-padrão fenotípico entre as linhagens da geração F_{∞} , estimado pela equação:

$$Si = \sqrt{1,143\sigma_{F4}^2 - 0,143\sigma_e^2}$$

Levando em conta o nível de endogamia das plantas analisadas (geração F4), 85,7% da variabilidade genética total é procedente da variabilidade entre populações, restando 14,3% para a variabilidade dentro de populações.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Análise dialélica

Na Tabela 4 é apresentado um resumo das análises de variância das 12 linhagens e seus 36 híbridos, obtidos a partir do dialelo parcial 6x6, para as características arquitetura de plantas (ARQ), severidade de murcha-de-fusário (SMF) e produtividade de grãos (PROD). As estimativas dos coeficientes de variação experimental (CV) variaram de 10,55% a 13,23%, indicando precisão dos dois experimentos (Tabela 4). Valores similares são relatados em experimentos envolvendo estes caracteres na cultura do feijoeiro (MOURA et al., 2016; PEREIRA, RAMALHO e ABREU 2011; PEREIRA, RAMALHO e ABREU, 2008).

Tabela 4. Resumo das análises de variância para a arquitetura planta (ARQ), severidade de murcha-de-fusário (SMF) e produtividade de grãos (PROD). Viçosa, MG, 2018

Fontes de variação	gl	Quadrado Médio		
		ARQ	SMF	PROD
Tratamentos	47	0,2846**	27,8069**	892709,2525**
CGC ₁	5	0,5914**	121,2975**	262456,7203 ^{ns}
CGC ₂	5	0,5058**	68,794**	579850,4854*
CEC	36	0,1697 ^{ns}	9,9002**	999105,2835**
Grupos	1	1,7777**	0,0625 ^{ns}	1778008,6297**
Resíduo	94	0,1196	0,2334	241644,1468
CV (%)		10,55	12,21	13,23
Média Genitores		3,28	3,96	3715,41
Média do Grupo 1		3,06	3,92	3493,18
Média do Grupo 2		3,50	4,00	3937,65

**, *, ns. Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente. CGC₁ = capacidade geral de combinação dos genitores do grupo 1; CGC₂ = capacidade geral de combinação dos genitores do grupo 2;

Houve efeito significativo para tratamento, pelo teste F ($p < 0,01$), sobre as três características, o que indica a existência de variabilidade entre os genótipos avaliados para ARQ, PROD e SMF (Tabela 4). A fonte de variação

tratamentos foi desdobrada em efeitos de capacidade geral de combinação dos genitores dos grupos 1 e 2 (CGC_1 e CGC_2), capacidade específica de combinação dos híbridos e dos genitores (CEC) e efeito de Grupos.

Observou-se efeito significativo ($p < 0,01$) para a fonte de variação Grupos quanto aos caracteres ARQ e PROD e não significativo quanto à SMF (Tabela 4). Efeito significativo de grupos indica diferença entre as médias dos grupos I e II. Assim, os genitores BRSMG Talismã, RC I-8, BRSMG Uai, CVIII 8511, CNFC 11965 e BRS Pérola, do grupo I, apresentaram desempenho médio superior aos genitores MAI 1813, BRS Estilo, VC13, VC28, VC25 e IAC Formoso, do grupo II, quanto a arquitetura de plantas e inferior quanto à produtividade de grãos.

Os efeitos de CGC foram significativos para as características ARQ e SMF nos dois grupos e para PROD no grupo 2. Apenas para PROD no grupo 1 o efeito de CGC foi não significativo (Tabela 4). Capacidade geral de combinação com efeito significativo indica variação entre as linhagens quanto à frequência de alelos favoráveis envolvidos no controle do caráter em análise. Os efeitos de CEC foram significativos ($p < 0,01$) para os caracteres SMF e PROD, o que indica diversidade entre os genitores cruzados para estes caracteres. Cabe ressaltar que a diversidade entre genitores baseada na CEC é relativa apenas a genes que exibem dominância. A CEC para o caráter ARQ foi não significativa, indicando predominância de efeitos aditivos envolvidos no controle deste caráter. Outros autores também relatam predominância de efeitos aditivos para esta característica na cultura do feijoeiro (SANTOS e VENCOVSKY, 1986; KORNEGAY, WHITE e DE LA CRUZ, 1992; TEIXEIRA,

RAMALHO e ABREU, 1999; SILVA et al., 2013b; MOURA et al., 2016; MOURA, 2017).

Considerando a característica arquitetura de plantas (ARQ), observou-se que a soma dos $\hat{\sigma}_{ii}$, ou $\hat{\sigma}_{jj}$, apresentou valor negativo (-0,56 e -0,55 respectivamente) (Tabela 5), indicando predominância de genes com desvios de dominância positivos envolvidos no controle genético desta característica, ou seja, em maioria alelos recessivos presentes nestes genitores determinam os menores valores para ARQ (plantas mais eretas). Assim, quanto à frequência de alelos favoráveis para ARQ, destaca-se a linhagem BRSMG Uai, do grupo 1, e VC 25, do grupo 2, com as menores e significativas estimativas de capacidade geral de combinação ($\hat{g}_i$ e $\hat{g}_j$) respectivamente (Tabela 5 e Figura 1). Ressalta-se o interesse nos valores negativos de $\hat{g}_i$, uma vez que notas mais baixas se referem a genitores com arquitetura mais ereta. Segundo Cruz, Regazzi e Carneiro (2012), as estimativas de $\hat{g}_i$ são indicativas da frequência de alelos favoráveis envolvidos no controle da característica em análise, o que permite concluir que dentre as linhagens, incluídas neste dialelo, BRSMG Uai e VC 25 são as de maior valor genético para serem utilizadas em cruzamento visando a obtenção de populações com potencial para se melhorar a arquitetura de plantas.

Tabela 5. Estimativas da capacidade geral e específica de combinação de 12 genitores de feijoeiro, avaliados em esquema de dialelo parcial 6x6, quanto à nota de arquitetura de plantas. Viçosa, MG - 2018

$G_1 \setminus G_2$	MAI 1813	BRS Estilo	VC 13	VC 28	VC 25	IAC Formoso	$\hat{g}_i$	$\hat{s}_{ii}$
BRSMG Talismã	0,09 ^a	0,07	-0,28	-0,08	-0,34	-0,04	0,03	0,29
RC I-8	0,07	-0,11	-0,29	0,07	-0,19	0,27	0,05	0,09
BRSMG Uai	0,19	0,34	0,32	0,19	0,26	0,06	-0,24*	-0,67*
CVIII 8511	0,31	0,12	0,27	-0,19	-0,13	0,17	-0,02	-0,27
CNFC 11965	-0,08	0,07	-0,11	-0,08	-0,01	-0,04	0,20*	0,12
BRS Pérola	-0,03	0,12	0,11	-0,03	0,04	0,01	-0,02	-0,11
$\hat{g}_j$	0,01	0,03	0,04	0,18*	-0,23*	-0,03	$\Sigma \hat{g}_i = \Sigma \hat{g}_j = 0$	$\Sigma \hat{s}_{ii} = -0,55$
$\hat{s}_{jj}$	-0,28	-0,31*	-0,01	0,06	0,19	-0,21	$\Sigma \hat{s}_{jj} = -0,56$	

* Significativo pelo teste t em nível de 5% de probabilidade.

G_1 : genitores do grupo 1; G_2 : genitores do grupo 2; ^a estimativas da capacidade específica de combinação dos 36 híbridos ($\hat{s}_{ij}$); $\hat{g}_i$ e $\hat{g}_j$: estimativas da capacidade geral de combinação dos genitores do grupo 1 e 2, respectivamente; $\hat{s}_{ii}$ e $\hat{s}_{jj}$: capacidade específica de combinação do genitor com ele mesmo para os grupos 1 e 2, respectivamente.

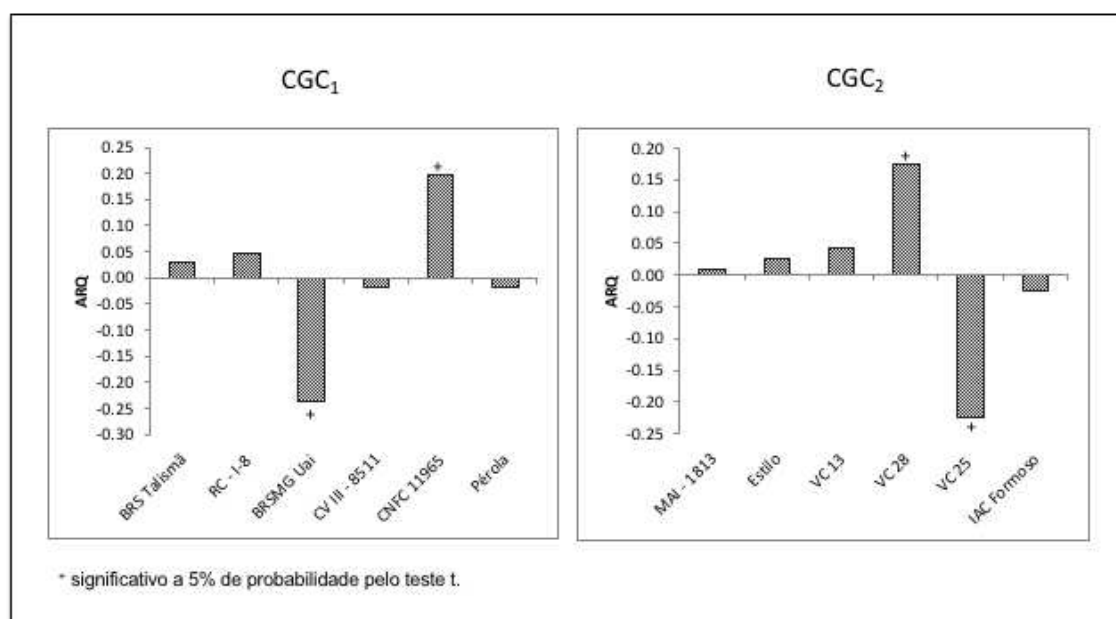


Figura 1. Estimativas da capacidade geral de combinação dos genitores do grupo 1 (CGC₁) e do grupo 2 (CGC₂) para a arquitetura de plantas (ARQ).

Ressalta-se que o efeito de CEC para os 36 híbridos foi não significativo (Tabela 4), indicando que os genes presentes nestes genitores envolvidos no controle de ARQ são de efeitos predominantemente aditivos. Entretanto, dominância bidirecional também pode levar à estimativa de CEC não significativa, uma vez que os desvios positivos e negativos se cancelam.

Apenas as linhagens BRSMG Uai e BRS Estilo apresentaram estimativas de $\hat{\sigma}_{ii}$ e $\hat{\sigma}_{jj}$ (-0,67 e -0,31, respectivamente) negativas e significativas, indicando que os alelos favoráveis para ARQ presentes nestes genitores são recessivos, pois valor negativo de $\hat{\sigma}_{ii}$ são devidos a genes com desvios de dominância positivos, ou seja, os alelos recessivos é que determinam os menores valores da característica (plantas mais eretas). A linhagem VC 25, embora tenha apresentado efeito de $\hat{\sigma}_j$ negativo e significativo, apresentou efeito de $\hat{\sigma}_{jj}$ positivo e não significativo. Este resultado indica que os alelos favoráveis da linhagem VC 25 para ARQ são, em sua maioria, dominantes. A linhagem BRS Estilo do grupo 2 apresentou estimativa de $\hat{\sigma}_{jj}$ negativa e significativa, porém com efeito de $\hat{\sigma}_j$ não significativo (Tabela 5). Estes resultados, indicam que esta linhagem também possui alelos recessivos associados a uma arquitetura de plantas mais ereta, porém em baixa frequência.

A ocorrência tanto de genes dominantes quanto recessivos determinando a arquitetura mais ereta das plantas, indica baixa eficiência da análise dialélica, uma vez que as estimativas de CEC ficam prejudicadas em razão dos desvios de dominância se cancelarem e, assim, o dialelo falha em apontar a diversidade entre os genitores, que é fundamental na escolha dos cruzamentos. Neste caso, para a escolha de genitores visando cruzamentos para a obtenção de populações segregantes de elevado potencial para o melhoramento desta característica, as informações sobre o desempenho e variabilidade destas populações em gerações mais avançadas de endogamia podem ser de grande utilidade, suprimindo esta deficiência do dialelo.

Na Tabela 6 são apresentadas as médias das 12 linhagens e dos 36 híbridos para a ARQ. Ressalta-se que a linhagem BRS Uai obteve nota de

ARQ igual a 2 (plantas bem eretas). Entretanto, todos os híbridos em que esta linhagem participou apresenta notas maiores que 3, ou seja, o desempenho dos híbridos é pior do que o do genitor. O mesmo se verifica para a linhagem BRS Estilo. Estes resultados corroboram a presença de alelos recessivos nestas linhagens determinando o fenótipo plantas mais eretas. Já alguns híbridos da linhagem VC 25 apresentam notas menores que a sua, 3,33 no caso, o que indica presença de alelos dominantes nesta linhagem relacionados ao fenótipo de plantas mais eretas. Estes resultados corroboram com as interpretações das estimativas dos parâmetros ($\hat{g}_i$, $\hat{s}_{ii}$ e $\hat{s}_{ij}$) da análise dialélica. Santos e Vencovsky (1986) também relataram tanto a presença de genes dominantes quanto recessivos atuando no controle genético de componentes de porte de planta em feijoeiro.

Tabela 6. Médias de arquitetura de plantas (ARQ) de 12 linhagens de feijoeiro e de seus híbridos, obtidos a partir de um dialelo parcial 6x6. Viçosa, MG - 2018

$G_1 \setminus G_2$	MAI 1813	BRS Estilo	VC 13	VC 28	VC 25	IAC Formoso	$\overline{G}_1$
BRSMG Talismã	3,50	3,50	3,17	3,50	2,83	3,33	3,50
RC I-8	3,50	3,33	3,17	3,67	3,00	3,67	3,33
BRSMG Uai	3,33	3,50	3,50	3,50	3,17	3,17	2,00
CVIII 8511	3,67	3,50	3,67	3,33	3,00	3,50	2,83
CNFC 11965	3,50	3,67	3,50	3,67	3,33	3,50	3,67
BRS Pérola	3,33	3,50	3,50	3,50	3,17	3,33	3,00
$\overline{G}_2$	3,33	3,33	3,67	4,00	3,33	3,33	
Média dos genitores do grupo 1							3,06
Média dos genitores do grupo 2							3,50
Média de todos os genitores							3,28
Média dos híbridos							3,40

G_1 : genitores do grupo 1; G_2 : genitores do grupo 2; $\overline{G}_1$: média de cada um dos genitores do grupo 1;

$\overline{G}_2$: média de cada um dos genitores do grupo 2;

Considerando a característica severidade da murcha-de-fusário causada por FOP UFV 01 (SMF), observou-se que a soma dos $\hat{s}_{ii}$, ou $\hat{s}_{jj}$, apresentou valor positivo (3,84) (Tabela 7), indicando predominância de genes com desvios de dominância negativos envolvidos no controle genético desta

característica, ou seja, em maioria alelos dominantes determinam os menores valores para SMF (plantas mais resistentes à murcha-de-fusário). Assim, quanto à frequência de alelos favoráveis para SMF, destacam-se as linhagens BRSMG Talismã, CVIII-8511 e BRS Pérola, do grupo 1, com as menores e significativas estimativas de $\hat{g}_i$, enquanto no grupo 2, os destaques são as linhagens VC 25 e VC 13 por estes mesmos critérios (Tabela 7 e Figura 2). Assim como para ARQ, são os menores valores de $\hat{g}_i$ e $\hat{g}_j$ (valores negativos) que indicam linhagens com maior frequência de alelos favoráveis envolvidos no controle da resistência à murcha-de-fusário, uma vez que menores notas estão associadas a plantas com maior resistência. Ressalta-se que as notas de severidade das linhagens BRSMG Talismã, CVIII-8511, VC 25 e VC 13 foram iguais a 1, resultado da ausência de sintomas de severidade ao FOP UFV 01 (Tabela 8).

Tabela 7. Estimativas da capacidade geral e específica de combinação de 12 genitores de feijoeiro, avaliados em esquema de dialelo parcial 6x6, quanto à nota de severidade de murcha-de-fusário. Viçosa, MG - 2018

$G_1 \setminus G_2$	MAI 1813	BRS Estilo	VC 13	VC 28	VC 25	IAC Formoso	$\hat{g}_i$	$\hat{s}_{ii}$
BRSMG Talismã	-1,65 ^a	-2,31*	1,19*	-0,32	1,39*	-1,12*	-1,84*	1,41*
RC I-8	1,08*	1,08*	-2,11*	0,04	-1,92*	0,24	1,46*	0,80*
BRSMG Uai	2,45*	2,09*	-0,1	-1,42*	-1,87*	2,41*	1,42*	-1,78*
CVIII 8511	-1,65*	-2,31*	1,19*	-0,32	1,39*	-1,12*	-1,84*	1,41*
CNFC 11965	1,66*	1,33*	-3,17*	0,26	-2,97*	2,52*	2,52*	0,19
BRS Pérola	-1,78*	-2,45*	1,06*	-0,46	1,26*	-1,26*	-1,71*	1,81*
$\hat{g}_j$	1,18*	1,84*	-1,66*	-0,15	-1,86*	0,65*	$\Sigma \hat{g}_i = \Sigma \hat{g}_j = 0$	$\Sigma \hat{s}_{ii} = 3,84$
$\hat{s}_{jj}$	-0,05	1,29*	0,97*	1,11*	1,36*	-0,83*	$\Sigma \hat{s}_{jj} = 3,85$	

* Significativo pelo teste t em nível de 5% de probabilidade.

G_1 : genitores do grupo 1; G_2 : genitores do grupo 2; ^a estimativas da capacidade específica de combinação dos 36 híbridos ($\hat{s}_{ij}$); $\hat{g}_i$ e $\hat{g}_j$: estimativas da capacidade geral de combinação dos genitores do grupo 1 e 2, respectivamente; $\hat{s}_{ii}$ e $\hat{s}_{jj}$: capacidade específica de combinação do genitor com ele mesmo para os grupos 1 e 2, respectivamente.

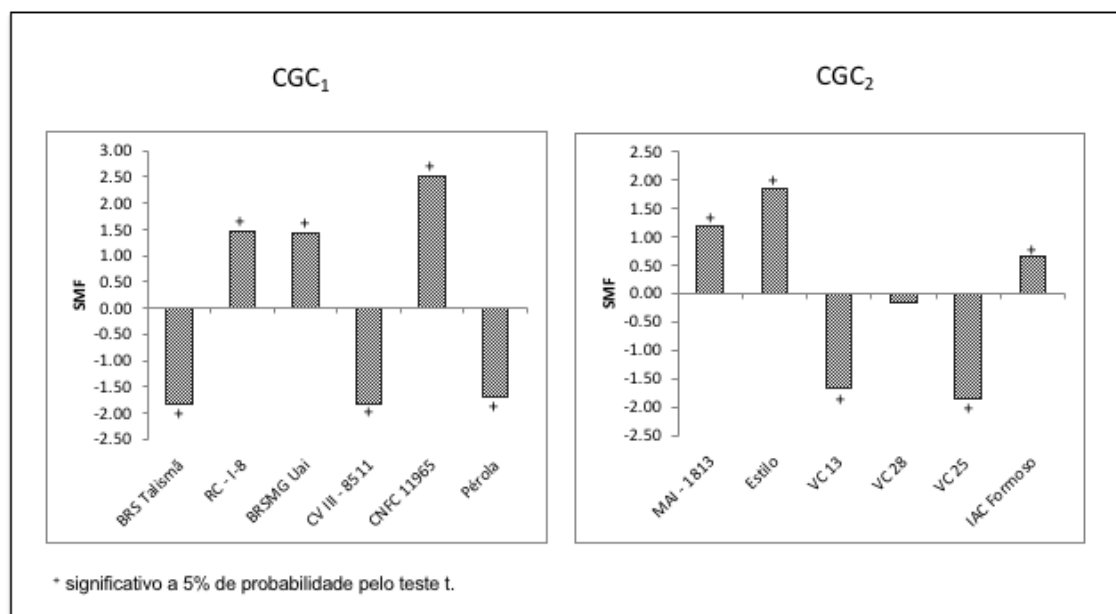


Figura 2. Estimativas da capacidade geral de combinação dos genitores do grupo 1 (CGC₁) e do grupo 2 (CGC₂) para severidade de murcha-de-fusário (SMF).

A capacidade específica de combinação (CEC) foi significativa ($p < 0,01$) para SMF, apresentando 19 estimativas negativas, sendo 15 destas significativas, variando entre -3,17 a -1,12 (Tabela 7). Isto indica que o desempenho de alguns híbridos é relativamente melhor do que o esperado com base nas estimativas da CGC, indicando presença de alelos dominantes nos genitores envolvidos nestes cruzamentos determinando a resistência à murcha-de-fusário causada pelo isolado FOP UFV 01 (Tabela 8).

Os 15 híbridos com as menores e significativas estimativas de CEC são, nesta ordem: CNFC 11965 / VC 13, CNFC 11965 / VC 25, BRS Pérola / BRS Estilo, BRSMG Talismã / BRS Estilo, CVIII 8511 / BRS Estilo, RC I-8 / VC 13, RC I-8 / VC 25, BRSMG Uai / VC 25, BRS Pérola / MAI 1813, BRSMG Talismã / MAI 1813, CVIII 8511 / MAI 1813, BRSMG Uai / VC 28, BRS Pérola / IAC Formoso, BRSMG Talismã / IAC Formoso e CVIII 8511 / IAC Formoso.

Tabela 8. Médias de severidade de murcha-de-fusário (SMF) de 12 linhagens de feijoeiro e de seus híbridos, obtidos a partir de um dialelo parcial 6x6. Viçosa, MG – 2018

$G_1 \setminus G_2$	MAI 1813	BRS Estilo	VC 13	VC 28	VC 25	IAC Formoso	$\bar{G}_1$
BRSMG Talismã	1	1	1	1	1	1	1
RC I-8	7,03	7,7	1	4,67	1	5,67	7
BRSMG Uai	8,37	8,67	2,97	3,17	1	7,8	4,33
CVIII 8511	1	1	1	1	1	1	1
CNFC 11965	8,67	9	1	5,94	1	9	8,5
BRS Pérola	1	1	1	1	1	1	1,67
$\bar{G}_2$	5,67	8,33	1	4,17	1	3,83	
Média dos genitores do grupo 1							3,92
Média dos genitores do grupo 2							4,00
Média de todos os genitores							3,96
Média dos híbridos							3,10

G_1 : genitores do grupo 1; G_2 : genitores do grupo 2; $\bar{G}_1$: média de cada um dos genitores do grupo 1; $\bar{G}_2$: média de cada um dos genitores do grupo 2.

Como já discutido anteriormente, os efeitos da CEC são estimados como o desvio do comportamento do híbrido em relação ao esperado com base na CGC dos genitores. Entretanto, cabe ressaltar que em todos os híbridos em que as linhagens BRSMG Talismã, CVIII-8511, VC 25, VC 13 e BRS Pérola participaram como genitores não foram observados nenhum sintoma da murcha-de-fusário (todos resistentes), com exceção apenas do híbrido entre VC 13 e BRSMG Uai, que apresentou nota igual a 2,97. Estes resultados indicam que poucos genes devem ser responsáveis pelo controle genético da resistência à murcha-de-fusário causada pelo isolado FOP UFV 01 e, assim, a variabilidade esperada nas populações segregantes oriundas destes híbridos será devida à presença de alelos dominantes fixados nos genitores resistentes e recessivos para o mesmo loco fixados nos suscetíveis e não devido à complementariedade de alelos dominantes de locos diferentes envolvidos no controle da resistência à murcha-de-fusário. Alguns trabalhos

estudaram o controle genético da murcha-de-fusário do feijoeiro, constatando, em sua maioria, a atuação de poucos genes dominantes envolvidos na resistência (BATISTA et al., 2017; CÂNDIDA et al., 2009; CROSS et al., 2000; FALL et al., 2001; PEREIRA, RAMALHO e ABREU, 2011; RIBEIRO e HAGEDORN, 1979; SALGADO, SCHWARTZ e BRICK, 1995).

Do exposto, as estimativas de CEC, neste caso, não têm eficiência em indicar cruzamentos com diversidade que interessa ao melhorista visando o melhoramento para a murcha-de-fusário. Assim, a escolha de cruzamentos deve-se basear apenas nas estimativas dos efeitos de $\hat{g}_i$ e $\hat{g}_j$, os quais ressaltam a frequência de alelos dominantes favoráveis presentes nos genitores.

Cruz e Vencovsky (1989) evidenciam que nem sempre o híbrido resultante do cruzamento entre um genitor selecionado com base na CGC, com frequência de alelos favoráveis superior à média da população e com considerável divergência da variedade com a qual está sendo cruzada darão origem ao melhor híbrido do dialelo.

Em relação às estimativas de $\hat{\sigma}_{ii}$ e $\hat{\sigma}_{jj}$ referentes aos genitores de maior capacidade geral de combinação ($\hat{g}_i$), ou frequência de alelos favoráveis envolvidos na resistência ao FOP UFV 01 (BRSMG Talismã, CVIII 8511 e BRS Pérola, do grupo 1, e VC 13 e VC 25, do grupo 2), observou-se valores positivos e significativos. Estes resultados indicam a presença de genes com desvios de dominância negativos nestes genitores envolvidos no controle de SMF, ou seja, os alelos dominantes estão associados às menores notas (maior resistência à murcha-de-fusário).

Entretanto, a linhagem BRSMG Uai (grupo 1) apresenta estimativa de $\hat{g}_i$ positiva e significativa (1,42) e estimativa de $\hat{s}_{ii}$ negativa e significativa (-1,78), e do mesmo modo a linhagem IAC Formoso (grupo 2), apresenta estimativa de $\hat{g}_j$ positiva e significativa (0,65) e estimativa de $\hat{s}_{jj}$ negativa e significativa (-0,83). Este último resultado indica a presença de um ou mais genes, nestes genitores, com desvios de dominância negativos, ou seja, alelo(s) recessivo(s) envolvido(s) na resistência à murcha-de-fusário. Resultados semelhantes foram observados para a linhagem MAI 1813 do grupo 2, contudo seu valor de $\hat{s}_{jj}$, embora negativo, foi não significativo, o que indica baixa frequência destes alelos recessivos neste genitor.

A linhagem BRSMG Uai apresentou nota de severidade à murcha-de-fusário igual a 4,33 (Tabela 8), sendo considerada de moderada resistência. Resultados semelhantes são relatados por Ramalho et al. (2016) para esta linhagem em condições de campo em que foi considerada moderadamente resistente. Esta linhagem foi desenvolvida pelo programa de melhoramento do feijoeiro da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Ressalta-se que os cruzamentos entre esta linhagem com as linhagens MAI 1813, BRS Estilo e IAC Formoso resultaram em híbridos com notas superiores a 7,8 (considerados suscetíveis). Estes resultados corroboram a presença de alelo(s) recessivo(s) envolvido(s) na resistência à murcha-de-fusário neste genitor. Resultado semelhante foi observado para a linhagem IAC Formoso quando cruzada com CNFC 11965 e RCI-8, o que também corrobora a presença de alelo(s) recessivo(s) envolvido(s) na resistência à murcha-de-fusário da linhagem IAC Formoso.

Genes recessivos também já foram relatados conferindo resistência ao crestamento bacteriano aureolado em feijoeiro (*Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola*) (DUNCAN et al., 2014).

Considerando a característica produtividade de grãos, as estimativas de soma de quadrados da CEC foram superiores ao somatório das estimativas de soma de quadrados da CGC do grupo 1 e CGC do grupo 2, evidenciando a predominância de genes com efeitos não aditivos (efeitos de dominância) envolvidos no controle da característica.

Silva et al. (2013b) avaliou 14 linhagens de feijão-comum e seus híbridos em dialelo parcial (8x6) e também observou predominância de genes desvios de dominância positivos envolvidos no controle genético da produtividade de grãos. O mesmo foi verificado por Machado et al. (2002) em populações F2 oriundas de um dialelo completo realizado entre 12 linhagens de feijão-comum. Entretanto, alguns trabalhos relatam predominância de efeitos aditivos no controle genético da produtividade de grãos em feijoeiro. Moura et al. (2016), Kurek et al. (2001) e Santos, Vencovsky e Ramalho, (1985), em avaliação de dialelo parcial obtiveram resultados em que evidenciaram a predominância de efeitos gênicos aditivos no controle genético da produtividade de grãos.

Considerando a capacidade específica de combinação dos genitores com eles mesmos ($\hat{\sigma}_{ii}$ e $\hat{\sigma}_{jj}$) para a característica PROD, observou-se que a soma dos $\hat{\sigma}_{ii}$, ou $\hat{\sigma}_{jj}$, apresentou valor negativo (-4021,34) (Tabela 9), também indicando predominância de genes com desvios de dominância positivos envolvidos no controle genético desta característica, ou seja, em maioria alelos dominantes determinam os maiores valores para PROD. Todas as linhagens

apresentaram estimativas de $\hat{s}_{ii}$ e $\hat{s}_{jj}$ negativas e significativas, exceto as linhagens RCI-8 e CVIII 8511 do grupo 1 com valores também negativos porém não significativos. Estimativas negativas e significativas de $\hat{s}_{ii}$, ou $\hat{s}_{jj}$, para a grande maioria das linhagens indicam que em cada uma das linhagens também predominam genes com desvios de dominância positivos envolvidos no controle genético de PROD, ou seja, genes dominantes aumentam o valor da característica.

Tabela 9. Estimativas da capacidade geral e específica de combinação de 12 genitores de feijoeiro, avaliados em esquema de dialelo parcial 6x6, quanto à produtividade de grãos. Viçosa, MG - 2018

$G_1 \setminus G_2$	MAI 1813	BRS Estilo	VC 13	VC 28	VC 25	IAC Formoso	$\hat{g}_i$	$\hat{s}_{ii}$
BRSMG Talismã	899,34 ^a	-68,00	-87,04	104,03	-37,18	439,11	-122,27	-625,13*
RC I-8	-109,75	634,32*	297,31	-25,21	-127,38	52,70	46,92	-360,99
BRSMG Uai	339,63	192,90	619,38*	241,46	212,57	140,58	-58,59	-873,26*
CVIII 8511	48,01	418,25	136,28	145,92	-169,61	-13,91	-33,08	-282,47
CNFC 11965	778,20*	-555,77*	151,39	510,63*	606,22*	92,19	19,79	-791,43*
BRS Pérola	-390,50	841,95*	85,29	234,59	479,57	925,21*	147,22	-1088,06*
$\hat{g}_j$	-31,97	-62,36	-209,94*	82,22	201,15*	20,90	$\Sigma \hat{g}_i = \Sigma \hat{g}_j = 0$	$\Sigma \hat{s}_{ii} = -4021,34$
$\hat{s}_{jj}$	-782,46*	-731,82*	-601,30*	-605,72*	-482,09*	-817,95*	$\Sigma \hat{s}_{jj} = -4021,34$	

* Significativo pelo teste t em nível de 5% de probabilidade.

G_1 : genitores do grupo 1; G_2 : genitores do grupo 2; ^a estimativas da capacidade específica de combinação dos 36 híbridos ($\hat{s}_{ij}$); $\hat{g}_i$ e $\hat{g}_j$: estimativas da capacidade geral de combinação dos genitores do grupo 1 e 2, respectivamente; $\hat{s}_{ii}$ e $\hat{s}_{jj}$: capacidade específica de combinação do genitor com ele mesmo para os grupos 1 e 2, respectivamente.

Quanto à frequência de alelos favoráveis para PROD (efeitos de $\hat{g}_i$), destaca-se a linhagem VC 25, do grupo 2, com a maior e significativa estimativa de capacidade geral de combinação ($\hat{g}_j$) (Tabela 9 e Figura 3). Neste caso, há interesse nos valores positivos de $\hat{g}_i$, uma vez que para produtividade de grãos o interesse são as maiores médias. Como as estimativas de $\hat{g}_j$ indicam a frequência de alelos favoráveis envolvidos no controle da característica em análise, conclui-se que a linhagem VC 25 é a de maior valor genético, entre as linhagens do grupo 2, para ser utilizada em cruzamento

visando a obtenção de populações com potencial para se melhorar a produtividade de grãos. Para o grupo 1 o efeito de CGC foi não significativo (Tabela 4), indicando que as linhagens não apresentam diferença na frequência de alelos favoráveis envolvidos no controle de PROD.

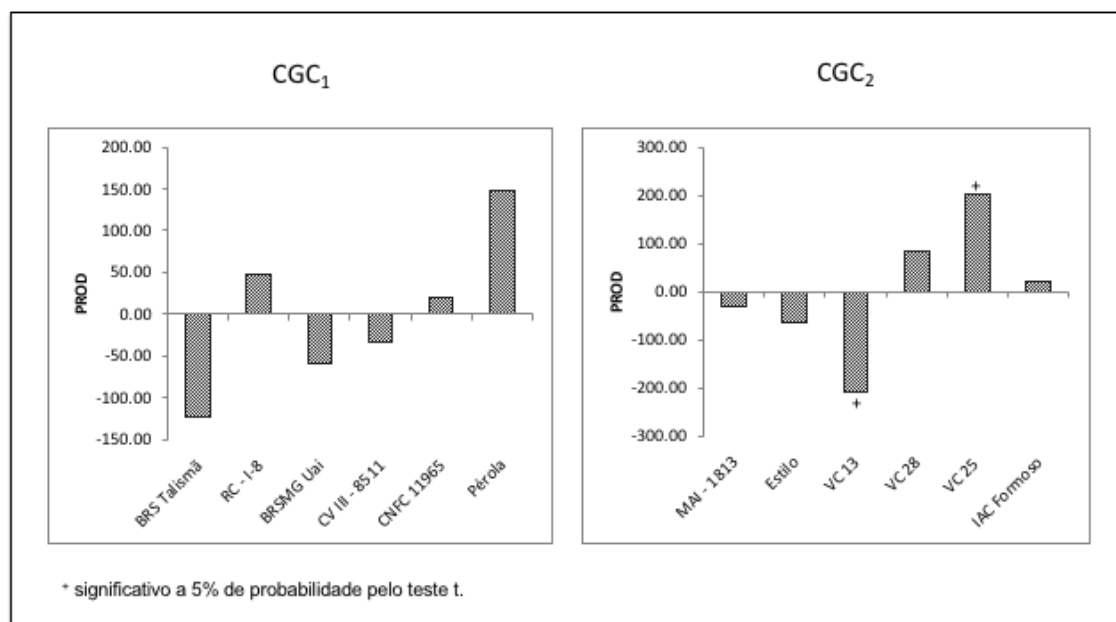


Figura 3. Estimativas da capacidade geral de combinação dos genitores do grupo 1 (CGC_1) e do grupo 2 (CGC_2) para a produtividade de grãos (PROD).

As linhagens MAI 1813, BRS Estilo e IAC Formoso possuem as mais negativas e significativas estimativas de $\hat{s}_{ij}$ e suas estimativas de $\hat{g}_j$ são não significativas. Isto indica que estas linhagens possuem genes com desvios de dominância predominantemente positivos no controle da PROD, no entanto, a baixa estimativa de $\hat{g}_j$ indica baixa frequência desses alelos, o que pode ocorrer pela presença tanto de alelos dominantes quanto recessivos no controle da característica. A dominância bidirecional afeta as estimativas de CEC e genes com desvios de dominância negativos, cuja frequência no dialelo é diferente de 0,5 também influenciam as estimativas de $\hat{g}_i$. Assim, estimativas viesadas de CGC e CEC dificultam a recomendação de genitores visando a obtenção de

populações segregantes de maior potencial para a extração de linhagens superiores. Já a linhagem RC I-8 possui estimativas de $\hat{s}_{ii}$ e de $\hat{g}_i$ não significativas. Isto indica que não há predominância de genes com desvios de dominância positivos ou negativos no controle da PROD nesta linhagem.

Para os efeitos de capacidade específica de combinação dos híbridos ($\hat{s}_{ij}$) foram observadas 26 estimativas positivas, sendo 8 destas significativas (Tabela 9). Isto indica que o desempenho de alguns híbridos é relativamente melhor do que o esperado com base nas estimativas da CGC, o que resulta da diversidade entre os genitores para locos que exibem dominância. Os oito híbridos com as maiores e significativas estimativas de CEC são, nesta ordem: BRS Pérola / IAC Formoso, BRSMG Talismã / MAI 1813, BRS Pérola / BRS Estilo, CNFC 11965 / MAI 1813, RC I-8 / BRS Estilo, BRSMG Uai / VC 13, CNFC 11965 / VC 25, CNFC 11965 / VC 28.

Como as médias das linhagens, BRSMGTalismã, RC I-8, BRSMG Uai, CVIII 8511 e CNF 11965 não apresentaram diferenças significativas da média do cultivar BRS Pérola (padrão de referência de feijão carioca) pelo teste de Dunnett, a 5% de probabilidade, pode-se inferir que em cruzamentos, com linhagens do grupo 2, pode-se usar qualquer uma destas linhagens visando a obtenção de populações com potencial para a extração de linhagens superiores. Assim, as populações oriundas dos híbridos que apresentaram estimativas positivas e significativas de CEC são as mais promissoras visando o melhoramento para PROD.

A linhagem VC 25, apresentou efeito de $\hat{g}_j$ positivo e significativo, bem como apresentou efeito de $\hat{s}_{jj}$ negativo e significativo. Este resultado indica que a linhagem VC 25 possui alta frequência de alelos favoráveis para PROD, que

são, em sua maioria, dominantes. A linhagem VC13 também apresentou estimativa de $\hat{s}_{ij}$ negativa e significativa, porém com efeito de $\hat{g}_j$ negativo e significativo (Tabela 9). Estes resultados, indicam que esta linhagem possui alelos dominantes associados a maiores valores de produtividade de grãos, porém em menor frequência comparada às outras linhagens do grupo 2.

Na Tabela 10 são apresentadas as médias das 12 linhagens e dos 36 híbridos para a PROD. Ressalta-se que o híbrido com a maior média (5478,97), bem como maior estimativa de $\hat{s}_{ij}$ (925,21) dentre os 36 é resultado da combinação BRS Pérola / IAC Formoso. Estes genitores são os mais divergentes para genes com desvios de dominância positivos envolvidos no controle de PROD, uma vez que apresentam as menores estimativas de $\hat{s}_{ii}$ e $\hat{s}_{jj}$. No caso em que predominam desvios de dominância positivos, valores elevados de $\hat{s}_{ij}$ indicam que os genitores envolvidos nos cruzamentos apresentam elevada divergência genética (Cruz e Vencovsky, 1989). A grande maioria dos híbridos apresentaram médias superiores à média de seu genitor de maior média, com exceção apenas de três híbridos, os quais são resultantes dos cruzamentos CVIII 8511 x VC 25, RC I-8 x VC 25 e BRSMG Talismã x VC 25, indicando em sua maioria presença de heterobeltiose. Estes resultados associados aos acima discutidos em termos de $\hat{s}_{ij}$ realçam a elevada complementariedade entre os genitores dos dois grupos do dialelo para a característica produtividade de grãos.

Tabela 10. Médias de produtividade de grãos (PROD) de 12 linhagens de feijoeiro e de seus híbridos, obtidos a partir de um dialelo parcial 6x6. Viçosa, MG - 2018

$G_1 \setminus G_2$	MAI 1813	BRS Estilo	VC 13	VC 28	VC 25	IAC Formoso	$\bar{G}_1$
BRSMG Talismã	5130,74	4133,01	3966,3	4449,6	4427,3	4723,39	3293,7
RC I-8	4290,84	5004,52	4519,9	4489,5	4506,3	4506,16	3896,2
BRSMG Uai	4634,72	4457,59	4736,4	4650,7	4740,7	4488,54	3172,9
CVIII 8511	4368,60	4708,45	4278,9	4580,7	4384,1	4359,55	3814,7
CNFC 11965	5151,66	3787,30	4346,8	4998,2	5212,8	4518,53	3411,5
BRS Pérola	4110,39	5312,45	4408,2	4849,6	5213,5	5478,97	3369,7
$\bar{G}_2$	3761,47	3751,33	3586,7	4166,6	4528,0	3831,73	
Média dos genitores do grupo 1							3493,1
Média dos genitores do grupo 2							3937,6
Média de todos os genitores							3715,4
Média dos híbridos							4609,0

G_1 : genitores do grupo 1; G_2 : genitores do grupo 2; $\bar{G}_1$: média de cada um dos genitores do grupo 1; $\bar{G}_2$: média de cada um dos genitores do grupo 2.

5.2. Potencial das populações segregantes F4

Com base na análise de variância dos dados de produtividade de grãos (PROD) por parcela, em kg ha⁻¹, das 34 populações avaliadas na geração F4 na safra do inverno de 2017, verificou-se efeito significativo de populações, o que indica variabilidade entre médias destas populações em relação a PROD.

Na sequência foi quantificado o potencial de cada população, considerando tanto o seu desempenho médio quanto variabilidade. As estimativas das probabilidades, em percentagem, de obtenção de linhagens superiores ao cultivar BRS Pérola em 20% (PSP) de cada população, conforme a metodologia proposta por Jinks e Pooni (1976) estão apresentadas na Tabela 11. Estas estimativas variam de 13,1% para a população 9 (RC I-8 / VC 13) a 43% para a população 1 (BRSMG Talismã / MAI 1813). As 20 populações de

maior potencial quanto à estimativa de PSP são, nesta ordem, 1, 24, 13, 17, 7, 2, 12, 10, 30, 8, 27, 18, 29, 36, 34, 28, 16, 11, 6 e 19.

Tabela 11. Média de produtividade de grãos (kg ha^{-1}) dos genitores e das populações F4 e valores de PSP (probabilidade de superar o padrão - BRS Pérola) de cada população F4. Viçosa, MG. 2018.

Ordem	Nº Pop	População	Média de produtividade de grãos (kg ha^{-1})			
					Pop (F4)	PSP (%)
1	1	BRSMG Talismã / MAI 1813	4669	4406	4996	43,0
2	24	CVIII 8511 / IAC Formoso	4767	4660	4949	42,9
3	13	BRSMG Uai / MAI 1813	4552	4406	4486	36,0
4	17	BRSMG Uai / VC 25	4552	4048	4718	34,9
5	7	RC I-8 / MAI 1813	4844	4406	5034	33,8
6	2	BRSMG Talismã / BRS	4669	4540	4535	33,0
7	12	RC I-8 / IAC Formoso	4844	4660	5113	31,7
8	10	R C I-8 / VC 28	4844	4286	4604	31,3
9	30	CNFC 11965 / IAC Formoso	4299	4660	4623	30,5
10	8	RC I-8 / BRS Estilo	4844	4540	5153	30,4
11	27	CNFC 11965 / VC 13	4299	4466	4467	30,1
12	18	BRSMG Uai / IAC Formoso	4552	4660	5221	29,9
13	29	CNFC 11965 / VC 25	4299	4048	4258	29,4
14	36	BRS Pérola / IAC Formoso	5214	4660	4387	29,1
15	34	BRS Pérola / VC 28	5214	4286	4314	29,0
16	28	CNFC 11965 / VC 28	4299	4286	5007	27,6
17	16	BRSMG Uai / VC 28	4552	4286	4417	27,4
18	11	RC I-8 / VC 25	4844	4048	4432	26,4
19	6	BRSMG Talismã / IAC	4669	4660	4589	25,7
20	19	CVIII 8511 / MAI 1813	4767	4406	4852	25,6
21	14	BRSMG Uai / BRS Estilo	4552	4540	4792	25,6
22	33	BRS Pérola / VC 13	5214	4466	4158	23,7
23	15	BRSMG Uai / VC 13	4552	4466	4677	23,2
24	25	CNFC 11965 / MAI 1813	4299	4406	4563	23,0
25	31	BRS Pérola / MAI 1813	5214	4406	4337	22,8
26	4	BRSMG Talismã / VC 28	4669	4286	4372	22,4
27	20	CVIII 8511 / BRS Estilo	4767	4540	4435	22,4
28	21	CVIII 8511 / VC 13	4767	4466	4616	22,2
29	3	BRSMG Talismã / VC 13	4669	4466	4016	20,6
30	22	CVIII 8511 / VC 28	4767	4286	4579	20,5
31	32	BRS Pérola / BRS Estilo	5214	4540	4092	19,0
32	5	BRSMG Talismã / VC 25	4669	4048	4269	17,8
33	26	CNFC 11965 / BRS Estilo	4299	4540	4049	14,7
34	9	RC I-8 / VC 13	4844	4466	4314	13,1

: média de cada um dos genitores do grupo 1; : média de cada um dos genitores do grupo 2.

Na genealogia das 20 populações com maior potencial pela metodologia de Jinks e Pooni (1976), os genitores do grupo 1, BRSMG Talismã, RC I-8, BRSMG Uai, CVIII 8511, CNFC 11965 e BRS Pérola estiveram presentes em

3, 5, 4, 2, 4 e 2 dos cruzamentos, respectivamente. Já para o grupo 2, os genitores MAI 1813, BRS Estilo, VC 13, VC 28, VC 25 e IAC Formoso estiveram, respectivamente, presentes em 4, 2, 1, 4, 3 e 6 dos cruzamentos.

Os genitores RC I-8 e IAC Formoso foram os que estiveram presentes em maior número de cruzamentos considerando a genealogia das 20 populações com maior potencial pela metodologia de Jinks e Pooni (1976). Entretanto, cabe ressaltar que, a partir da análise dialélica, a linhagem RC I-8 possui estimativas de $\hat{\sigma}_{ii}$ e de $\hat{\sigma}_i$ não significativas (Tabela 9), indicando baixa frequência de alelos favoráveis presentes nesta linhagem, bem como baixa diversidade relativa às linhagens do grupo 2.

Estes resultados contraditórios podem ser devidos à presença tanto de genes com desvios positivos quanto negativos no controle de PROD presentes nesta linhagem. Resultados semelhantes foram observados para as linhagens MAI 1813, BRS Estilo, VC 28 e IAC Formoso, em que apresentaram estimativas de $\hat{\sigma}_{jj}$ negativas e significativas e estimativas de $\hat{\sigma}_j$ não significativas, o que também pode ser devido tanto à presença de genes com desvios positivos quanto negativos no controle de PROD interferindo nas estimativas de $\hat{\sigma}_j$. Estes resultados indicam que as informações a partir de populações em gerações mais avançadas de endogamia suprem estas deficiências da análise dialélica na escolha de populações com maior potencial para a extração de linhagens.

Comparando o desempenho médio das populações F4 (Tabela 11) e híbridos F1 (Tabela 10) em relação ao desempenho dos genitores envolvidos em suas genealogias observou-se que o número de populações F4 que exibiram heterobeltiose (14 no caso) foi bem inferior ao de híbridos F1 que

foram 33 dos 36 avaliados. Este resultado confirma a presença de genes com desvios de dominância positivos envolvidos no controle de PROD detectados a partir das informações da análise dialélica.

A estimativa do coeficiente de correlação de Pearson entre as médias de produtividade de grãos das populações na geração F4 e híbridos F1 (Tabelas 10 e 11) foi de 0,09. Esta baixa estimativa de correlação indica a ocorrência de interação genótipos x ambientes (GxA), uma vez que os híbridos F1 foram avaliados na safra seca de 2014 e as populações F4 na safra do inverno de 2017. Segundo CRUZ, REGAZZI e CARNEIRO (2012), a falta de correlação entre o desempenho de genótipos é fator determinante na ocorrência de interação GxA em especial de natureza complexa. Considerando apenas os genitores, também se observou baixa estimativa do coeficiente de correlação de Pearson (-0,34) considerando seus desempenhos nas safras da seca/2014 e do inverno/2017, o que reforça a ocorrência de interação GxA envolvida na característica produtividade de grãos. Faria et al. (2013) e Barili et al. (2015) também relatam a ocorrência de interação genótipos x ambientes para produtividade de grãos em feijoeiro.

Considerando as 20 populações de maior potencial com base na análise dialélica para PROD, ou seja, aquelas que apresentaram as maiores estimativas de CEC (Tabela 9), observou-se que 12 delas foram comuns (Tabela 12) àquelas escolhidas com base na geração F4 pela metodologia de Jinks e Pooni (1976) (Tabela 11). Este resultado não completamente concordante pode ser devido ao efeito da interação GxA na produtividade de grãos, bem como quanto à presença tanto de genes com desvios de dominância positivos quanto negativos envolvidos no controle genético de

PROD presentes em alguns dos genitores. A população oriunda do cruzamento entre CVIII 8511 e IAC Formoso, segunda classificada com base na metodologia de Jinks e Pooni (1976) não foi indicada com base na estimativa de CEC. Como já discutido, este resultado pode ser devido à genes com desvios de dominância positivos e negativos envolvidos no controle de PROD presente nesta linhagem. Uma forma de capitalizar os efeitos da interação GxA na produtividade de grãos seria a avaliação do dialelo em mais condições ambientais. Entretanto, a dificuldade na obtenção de número suficiente de sementes F1 para esta alternativa pode ser um fator limitante. Assim, o uso de informações das populações em gerações mais avançadas de endogamia em complementariedade às da análise dialélica pode ser uma alternativa promissora, visando a escolha mais acurada daquelas populações de maior potencial.

Tabela 12. Classificação das 20 melhores populações segregantes superiores que o cultivar BRS Pérola (PSP) e dos 20 híbridos F1's com maiores e positivas estimativas de CEC. Viçosa, MG. 2018.

Ordem	Populações			
	PSP (%)		CEC	
1	1*	BRSMG Talismã / MAI 1813	36*	BRS Pérola / IAC Formoso
2	24	CVIII 8511 / IAC Formoso	1*	BRSMG Talismã / MAI 1813
3	13*	BRSMG Uai / MAI 1813	32	BRS Pérola / BRS Estilo
4	17*	BRSMG Uai / VC 25	25	CNFC 11965 / MAI 1813
5	7	RC I-8 / MAI 1813	8*	RC I-8 / BRS Estilo
6	2	BRSMG Talismã / BRS Estilo	15	BRSMG Uai / VC 13
7	12	RC I-8 / IAC Formoso	29*	CNFC 11965 / VC 25
8	10	R C I-8 / VC 28	28*	CNFC 11965 / VC 28
9	30	CNFC 11965 / IAC Formoso	6*	BRSMG Talismã / IAC Formoso
10	8*	RC I-8 / BRS Estilo	20	CVIII 8511 / BRS Estilo
11	27*	CNFC 11965 / VC 13	13*	BRSMG Uai / MAI 1813
12	18*	BRSMG Uai / IAC Formoso	9	RC I-8 / VC 13
13	29*	CNFC 11965 / VC 25	16*	BRSMG Uai / VC 28
14	36*	BRS Pérola / IAC Formoso	34*	BRS Pérola / VC 28
15	34*	BRS Pérola / VC 28	17*	BRSMG Uai / VC 25
16	28*	CNFC 11965 / VC 28	14	BRSMG Uai / BRS Estilo
17	16*	BRSMG Uai / VC 28	27*	CNFC 11965 / VC 13
18	11	RC I-8 / VC 25	22	CVIII 8511 / VC 28

19	6*	BRSMG Talismã / IAC Formoso	18*	BRSMG Uai / IAC Formoso
20	19	CVIII 8511 / MAI 1813	21	CVIII 8511 / VC 13

* 20 melhores classificadas pelas duas metodologias.

As populações oriundas dos cruzamentos BRS Pérola / BRS Estilo, CNFC 11965 / MAI 1813 e BRSMG Uai / VC 13 foram classificadas entre as seis de maior potencial com base na análise dialélica, entretanto não foram classificadas entre as 20 de maior potencial pela metodologia de Jinks e Pooni (1976). Estas populações apresentaram elevadas e significativas estimativas de CEC, indicando elevada complementariedade entre os genitores cruzados. Com o avanço da endogamia destas populações, o tamanho amostral pode não ter sido suficiente para manter toda a variabilidade destas populações, o que pode ter refletido em menor média e variância destas populações na geração F4, ou ainda que a amostra de 90 plantas para quantificar o desempenho médio e variabilidade destas populações na geração F4 pode não ter sido suficiente.

As estimativas de parâmetros obtidas a partir da análise dialélica são mais acuradas em termos de tamanho amostral e variância residual comparadas às de populações com maior grau de endogamia. Ainda é importante mencionar que para populações com maior grau de endogamia há a necessidade de se avaliar plantas individuais dentro das populações para se obter a estimativa de variabilidade dentro das populações. Entretanto, a avaliação de populações segregantes em diferentes ambientes pode ser útil visando a escolha de populações com maior potencial, pois com o avanço da endogamia os efeitos de genes com desvio de dominância negativos (genes recessivos aumentando o valor da característica) e interações epistáticas

vantajosas são captados, aumentando a chance de sucesso com o melhoramento.

Com o intuito de selecionar as 20 populações de maior potencial para se dar início ao programa de melhoramento por seleção recorrente recomenda-se as 12 comuns às duas metodologias, acrescidas de quatro populações (CVIII 8511 / IAC Formoso, RC I-8 / MAI 1813, BRSMG Talismã / BRS Estilo e RC I-8 / IAC Formoso) que se destacaram apenas pela metodologia de Jinks e Pooni (1976) e quatro populações (BRS Pérola / BRS Estilo, CNFC 11965 / MAI 1813, BRSMG Uai / VC 13 e CVIII 8511 / BRS Estilo) que se destacaram apenas com base nas informações da análise dialélica. É importante mencionar que na genealogia destas 20 populações selecionadas (1, 2, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 20, 24, 25, 27, 28, 29, 32, 34 e 36) estão envolvidos todos aqueles genitores que também se destacaram para arquitetura de plantas e resistência à murcha-de-fusário pela análise dialélica. Assim, o programa de seleção recorrente a ser estabelecido a partir destas 20 populações apresenta a oportunidade de se melhorar simultaneamente as características arquitetura de plantas, resistência à murcha-de-fusário e produtividade de grãos.

6. CONCLUSÕES

As linhagens que se destacaram quanto a frequência de alelos favoráveis para a arquitetura de plantas foram VC 25 e BRSMG Uai, com predominância de genes dominantes e recessivos presentes, respectivamente nestas linhagens, determinando o fenótipo plantas mais eretas.

As linhagens que se destacaram quanto a frequência de alelos favoráveis para a resistência à murcha-de-fusário foram BRSMG Talismã, CVIII 8511, BRS Pérola, VC 25 e VC 13. Houve predominância de genes dominantes envolvidos na resistência à murcha-de-fusário nestas linhagens, exceto para BRSMG Uai e IAC Formoso que apresentam predominância de genes recessivos.

Para a produtividade de grãos houve predominância de genes dominantes determinando plantas mais produtivas, com destaque para a linhagem VC 25. Esta linhagem também se destacou quanto à frequência de alelos favoráveis para resistência à murcha-de-fusário e arquitetura ereta de plantas, simultaneamente.

As 20 populações selecionadas foram a 1, 2, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 20, 24, 25, 27, 28, 29, 32, 34 e 36.

O uso de informações das populações em gerações mais avançadas de endogamia em complementariedade às da análise dialélica é uma estratégia promissora, visando a escolha mais acurada daquelas populações de maior potencial, quando ocorre dominância bidirecional envolvida no controle genético da característica de interesse.

7. REFERÊNCIAS

- ABAWI, G. S. Root Rots. In: SCHWARTZ, H.F.; PASTOR-CORRALES, M. A. (Eds.). **Bean production problems in the tropics**. 2nd ed. Cali: CIAT, 1994. p. 121-184.
- ABREU, Â. D. F. B.; RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. D. Prediction of seed-yield potential of common bean populations. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, SP, v. 25, n. 3, p. 323-327, 2002.
- AMARO, G. B. et al. 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.
- BAENZIGER, P. S.; PETERSON, C. J. Genetic variation: Its origin and use for breeding self-pollinated species. In: STALKER, H. T.; MURPHY, J. P. (Eds.). **Plant breeding in the 1990's**. Raleigh: N.C., 1991. p. 69-100.
- BARILI, L. D. et al. Genotype-environment interaction in common bean cultivars with carioca grain, recommended for cultivation in Brazil in the last 40 years. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 15 p. 244-250, 2015.
- BATISTA, R. O. et al. Inheritance of resistance to fusarium wilt in common bean. **Euphytica**, v. 213, n. 7, p. 1–12, 2017.
- BEARZOTI, E. **Simulação de Seleção Recorrente Assistida por Marcadores Moleculares em Espécies Autógamas**. 1997. 230 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 1997.
- BIANCHINI, A.; MARINGONI, A. C.; CARNEIRO, S. M. T. G. Doenças do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). In: KIMATE, H. et al. (Eds.). **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1997. v. 2, p. 376-399.
- BOLKAN, H. A. Las pudriciones radicales. In: SCHWARTZ, H. F.; GÁLVEZ, G. E. (Eds.). **Problemas de producción del frijol: Enfermedades, insectos, limitaciones edáficas y climáticas de Phaseolus vulgaris**. Cali: CIAT, 1980. p. 65-99.
- BORÉM, A.; CARNEIRO, J. E. S. A Cultura. In: CARNEIRO, J. E. S; PAULA JUNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Eds.). **Feijão Do Plantio A Colheita**. 1. ed. Viçosa, MG: UFV, 2015. p. 9-15.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 6. ed. Viçosa, MG: UFV, 2013. 529 p.

CÂNDIDA, D. V. et al. Controle genético da murcha do fusário (*Fusarium oxysporum*) em feijoeiro comum. **Tropical plant pathology**, v. 34, n. 6, p. 379–384, 2009.

CARDOSO, C. O. N.; KIMATE, H.; FERNANDES, N. G. Nota sobre a ocorrência de *Fusarium oxysporum* Schlecht Phaseoli Kendrick & Snyder causando murcha em feijoeiro. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”**, Piracicaba, v. 23, p. 273-276, 1966.

CARGNIN, A. Seleção recorrente no melhoramento genético de plantas autógamas. **Embrapa Cerrados-Documents (INFOTECA-E)**, Planaltina, DF. 24 p. 2007.

CARNEIRO, J. E. S. et al. Breeding potential of single, double and multiple crosses in common bean. **Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, (2002).

CLARKSON, J. D. S. Pathogenicity of *Fusarium* spp. Associated with Foot-rots of Peas and Beans. **Plant Pathology**, Oxford, v.27, p.110-117, 1978.

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

CONAB (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO). Série histórica. **Feijão total série histórica**. 1976 - 2018. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&Pagina_objcmsconteudos=2#A_objcmsconteudos>. Acesso em: 15 de Fevereiro de 2018.

CRAMER, R. A. et al. Characterization of *Fusarium oxysporum* isolates from common bean and sugar beet using pathogenicity assays and random-amplified polymorphic DNA markers. **Journal of Phytopathology**, v.151, n.6 p. 352-360, 2003.

CROSS, H. et al. Inheritance of resistance to *Fusarium* wilt in two common bean races. **Crop Science**, v. 40, n. 4, p. 954-958, 2000.

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**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2012. p. 390.

CRUZ, C. D.; VENCOSKY, R. Comparação de alguns métodos de análise dialélica. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto v. 12, n. 2, p. 425-438, 1989.

DA ROCHA, F. et al. Análise dialélica como ferramenta na seleção de genitores em feijão. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 1, p. 74-81, 2014.

DUNCAN, R. W. et al. Inheritance of resistance to the widely distributed race 6 of *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola* in common bean pinto US14HBR6. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 94, n. 5, p. 923-928, 2014.

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. **Dados de conjuntura da produção de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) no Brasil (1985 a 2016)**. Disponível em:

<<http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm>> . Acesso em: 24 de junho de 2018.

FALCONER, D. S. **Introduction to quantitative genetics**. Oliver And Boyd; Edinburgh; London, 1960.

FALL, A. L. et al. Detection and mapping of a major locus for Fusarium wilt resistance in common bean. **Crop science**, v. 41, n. 5, p. 1494-1498, 2001.

FAO. (food and agriculture organization of the united nations). **Faostat. Crops**. 2017. Disponível em: < <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize> >. Acesso em: 15 de Janeiro de 2018.

FARIA, L. C. et al. Genetic progress during 22 years of improvement of carioca-type common bean in Brazil. **Field Crops Research**, v. 142, p. 68-74, 2013.

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

GERALDI, I. O.; MIRANDA FILHO, J. B. Adapted models for the analysis of combining ability of varieties in partial diallel crosses. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 11, n. 1, p. 419-430, 1988.

GONÇALVES-VIDIGAL, M. C. et al. Co-segregation analysis and mapping of the anthracnose Co-10 and angular leaf spot Phg-ON disease-resistance genes in the common bean cultivar Ouro Negro. **Theoretical and applied genetics**, v. 126, n. 9, p. 2245, 2013.

GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian journal of biological sciences**, v. 9, n. 4, p. 463-493, 1956.

HENRIQUE, F. H. et al. Classification of physiological races of *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* in common bean. **Bragantia**, Campinas, v. 74, n. 1, p. 84-92, 2015.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Tabela 1618, IBGE, 2018. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618>>. Acesso em: 01 de Fevereiro de 2018.

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, 1 abr. 1976.

KHAN, A. Performance of different bread wheat varieties for yield and yield attributes under diallel combinations. **Annals of Agrarian Science**, v. 14, n. 2, p. 25-34, 2016.

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

KUREK, A. J. et al. Capacidade combinatória como critério de eficiência na seleção de genitores em feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 4, p. 645-651, 2001.

LASCA, C. C. Estudos sobre a flora fúngica de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) **O Biológico**, São Paulo, v.44, p.125-134, 1978.

LOPES, C. A.; BOITEUX, L. S. Melhoramento para resistência a doenças bacterianas. In: BORÉM, A.; FRITSCHÉ-NETO, R. (Eds.). **Melhoramento de plantas para condições de estresses bióticos**. 1. ed. Visconde do Rio Branco MG: Suprema, 2012. cap. 2, p. 61-88.

MACHADO, C. F. et al. Choice of common bean parents based on combining ability estimates. **Genetics and Molecular Biology**, v. 25, n. 2, p.179-183, 2002.

MELO L. C. et al. 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.

MENDES, F. F. et al. Index to Select the Best Segregating Populations of Common Bean. **COOPERATIVE**, p. 14, 2009.

MENDONÇA, H. A.; DOS SANTOS, J. B.; RAMALHO, M. A. P. Selection of common bean segregating populations using genetic and phenotypic parameters and RAPD markers. **Embrapa Acre-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2002.

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

MENEZES, J. R. et al. Qualidade sanitária de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) no Estado do Paraná. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 6, n. 3 p. 497-508, 1981.

MESQUITA, F. R. et al. Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): composição química e digestibilidade proteica. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 31, n. 4, p. 1114-1121, 2007.

MOURA, L. M. **Efeito de Safras, Locais e Gerações nas Estimativas de Parâmetros da Análise Dialélica para Arquitetura de Plantas e Produtividade de Grãos em Feijão**. 2017. 51 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2017.

MOURA, L. M. et al. Diallel analysis to choose parents for black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) breeding. **Genetics and Molecular Research**, v. 15, n. 3, 29 ago. 2016.

MUSONI, A. et al. Inheritance of fusarium wilt (*Fusarium oxysporum* f. sp. phaseoli) resistance in climbing beans. **African Journal of Agricultural Research**, v. 5, n. 5, p. 399-404, 2010.

NEERGAARD, P. **Seed pathology**. London: MacMillan. v. 1, 1979. 839 p.

PASTOR-CORRALES, M. A.; ABAWI, G. S. Reactions of selected bean germplasms to infection by *Fusarium oxysporum* f. sp. phaseoli. **Plant Disease**, v. 71, p. 990-993, 1987.

PAULA JÚNIOR, T. J. et al. Doenças do feijoeiro: estratégias integradas de manejo. In: CARNEIRO, J. E.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Eds.). **Feijão: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: UFV, 2015. p. 270-299.

PAULA JÚNIOR, T. J.; WENDLAND, A. (Eds.). Introdução. In: **Melhoramento genético do feijoeiro-comum e prevenção de doenças**. Viçosa, MG: EPAMIG Zona da Mata, 2012.

PEREIRA, A. C. **Resistência do feijão-comum à murcha-de-fusário**. 2013. 87 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013.

PEREIRA, A. S. et al. Melhoramento para Resistência a Oomicetos. In: BORÉM, A.; FRITSCHÉ-NETO, R. (Eds.). **Melhoramento de plantas para condições de estresses bióticos**. 1. ed. Visconde do Rio Branco: Suprema, MG, 2012. Cap. 2, p. 25-60.

PEREIRA, M. J. Z.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, Â. D. 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, Â. D. F. B. Reação de linhagens de feijoeiro ao fungo *Fusarium oxysporum* f. sp. phaseoli em

condições controladas. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 35, n. 5, p. 940–947, 2011.

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, MG, 2007.

PIMENTEL, A. J. B. et al. Análise dialélica parcial em gerações avançadas para seleção de populações segregantes de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 12, p. 1555–1561, 2013.

PIRES, L. P. M. et al. Recurrent mass selection for upright plant architecture in common bean. **Scientia Agricola**. v. 71, n. 3, p. 240-243, 2014.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, Â. D. F. B. Obtenção de cultivares. In: CARNEIRO, J. E. S.; PAULA JUNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Eds.). **Feijão do plantio à colheita**. 1. ed. Viçosa: UFV, 2015. Cap. 5, p. 96-114.

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

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, Â. D. F. B.; SANTOS, J. B. Genetic progress in Common Bean after four cycles of recurrent selection. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Gemena, v. 46, p. 47-48, 2003.

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

RAMALHO, M. A. P. et al. **Aplicações da Genética Quantitativa no Melhoramento de Plantas Autógamas**. 1. ed. Lavras: UFLA, (2012b). 522 p.

RAMALHO, M. A. P. et al. BRSMG Uai: Common bean cultivar with carioca grain type and upright plant architecture. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, n. 3, p. 261–264, 2016.

RAMALHO M. A. P. et al. Murcha-de-fusário. In: PAULA JUNIOR, T. J.; WENDLAND, A. (Eds.). **Melhoramento genético do feijoeiro-comum e prevenção de doenças**. Viçosa, MG: Epamig, (2012a). p. 127-138.

RAMALHO, M. A. P.; LAMBERT, E. S. Biometria e o melhoramento de plantas na era da genômica. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**. v. 3, n. 2, p. 228-249, 2004.

RAMALHO, M. A. P. Seleção recorrente. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 5. 1996, Goiânia. **Anais...** Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1996, p. 153-165.

RIBEIRO, G. et al. Diallel analysis in white oat cultivars subjected to water

stress. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. v. 11, n. 2, p. 125-132, 2011.

RIBEIRO, R. de L. D.; HAGEDORN, D. J. Inheritance and nature of resistance in beans to *Fusarium oxysporum* f. sp. phaseoli. **Phytopathology**. v. 69, p. 859–861, 1979.

ROCHA, G. S. et al. Effect of environments on the estimated genetic potential of segregating common bean populations. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 13, n. 4, p. 241-248, 2013.

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

SALGADO, M. O.; SCHWARTZ, H. F.; BRICK, M. A. Inheritance of resistance to a Colorado race of *Fusarium oxysporum* f. sp. phaseoli in common beans. **Plant Disease**. v. 79, n. 3, p. 279–281, 1995.

SANTOS, J. B.; VENCOVSKY, R. Controle Genético de Alguns Componentes do Porte da Planta em Feijoeiro. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 21, n. 9, p. 957–963, 1986.

SANTOS, J. B.; VENCOVSKY, R.; RAMALHO, M. A. P. Controle genético da produção de grãos e de seus componentes primários em feijoeiro. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 20, n. 10, p. 1203–1211, 1985.

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

SARTORATO, A.; RAVA, C. A. Murcha ou amarelecimento de *Fusarium*. In: SARTORATO, A.; RAVA, C. A. (Eds.). **Principais doenças do feijoeiro comum e seu controle**. Brasília DF: EMBRAPA-SPI. 1994. p. 175-190.

SCHWARTZ, H. F., FRANC, G. D., KERR, E. D.: Fungal diseases. In: SCHWARTZ, H.F., BRICK M.A., NULAND D.S., FRANC G.D. (Eds). **Dry Bean Production and Pest Management**. Regional Bull. A, v.562, Cooperative Extension Resource Center, Colorado State University, Ft Collins, CO. 1996. p. 67–77.

SILVA, G. S. et al. Progresso genético após oito ciclos de seleção recorrente para produtividade de grãos do feijoeiro. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.10, p.351-356, 2010.

SILVA, V. M. P. et al. Genetic improvement of plant architecture in the common bean. **Genetics and Molecular Research**, v. 12, n. AOP, p. 3093–102, 30 jan. 2013a.

SILVA, V. M. P. et al. Genetic potential of common bean parents for plant

architecture improvement. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 3, p. 167–175, jun. 2013b.

SINGH, S. P. et al. Two cycles of recurrent selection for seed yield in common bean. **Crop Science**, v. 39, n. 2, p. 391-397, 1999.

TEIXEIRA, F. F.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, Â. D. 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, dez. 1999.

TOLEDO, N. M. V. et al. Interaction and digestibility of phaseolin/polyphenol in the common bean. **Food Chemistry**, v. 138, n. 2-3, p. 776–780, 2013.

TORRES, E. A.; GERALDI, I. O. Partial diallel analysis of agronomic characters in rice (*Oryza sativa* L.). **Genetics and Molecular Biology**, v. 30, n. 3, p. 605-613, 2007.

TRILLER, C.; TOLEDO, J. F. F. Using the F3 generation for predicting the breeding potential of soybean crosses. **Brazilian Journal of Genetics**, v. 19, 1996.

VALE, N. M. et al. Effect of generations and environments in the analysis of a partial diallel to improve bean earliness. **Genetics and Molecular Research**, v. 14, n. 3, p. 8219–8228, 27 jul. 2015.

VIEIRA, C. **Doenças e pragas do feijoeiro**. Viçosa: UFV, 1983. 231 p.

VIEIRA, C. et al. **MELHORAMENTO DE ESPÉCIES CULTIVADAS**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2005. p. 301-392.

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

WINTER, W. E.; MOTHER, S. B.; NEERGAARD, P. Seedborne organisms of Argentina: a survey. **Plant Disease Reporter**, Washington, v. 58, p. 507-511, 1974.

ZAMBOLIM, L. et al. Ocorrência de murcha-de-Fusarium em feijoeiro comum na Zona da Mata de Minas Gerais. **Fitopatologia Brasileira**, v. 12, p. 287-288, 1987.

ZAUMEYER, W. J.; Thomas H. R. **A monographic study of bean diseases and methods of their control**. Washington: USDA, 1957. 255p.