

LISANDRA MAGNA MOURA

**EFEITO DE SAFRAS, LOCAIS E GERAÇÕES NAS ESTIMATIVAS DE  
PARÂMETROS DA ANÁLISE DIALÉLICA PARA ARQUITETURA DE  
PLANTAS E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS EM FEIJÃO**

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

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2017

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

T

M929e  
2017

Moura, Lisandra Magna, 1983-  
Efeito de safras, locais e gerações nas estimativas de  
parâmetros da análise dialélica para arquitetura de plantas e  
produtividade de grãos em feijão / Lisandra Magna Moura. –  
Viçosa, MG, 2017.  
ix, 51f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Pedro Crescêncio Souza Carneiro.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Referências bibliográficas: f.45-51.

1. *Phaseolus vulgaris* L.. 2. Análise dialélica.  
3. Melhoramento genético. I. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Biologia Geral. Programa de Pós-graduação  
em Genética e Melhoramento. II. Título.

CDD 22.ed. 635.6523

LISANDRA MAGNA MOURA

**EFEITO DE SAFRAS, LOCAIS E GERAÇÕES NAS ESTIMATIVAS DE  
PARÂMETROS DA ANÁLISE DIALÉLICA PARA ARQUITETURA DE  
PLANTAS E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS EM FEIJÃO**

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

APROVADA: 27 de julho de 2017.

---

José Eustáquio de Souza Carneiro  
(Coorientador)

---

Moacil Alves de Souza

---

José Ivo Ribeiro Júnior

---

Renan Cardoso Lima

---

Pedro Crescêncio Souza Carneiro  
(Orientador)

À minha família.

Aos meus amigos.

A todos que contribuíram para minha formação.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A DEUS, pela vida.

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

À Fapemig e ao CNPq pelo apoio financeiro.

Ao professor Pedro Crescêncio Souza Carneiro, pela orientação, exemplo profissional, ensinamentos, disponibilidade, paciência, incentivo e pela convivência agradável.

Ao professor José Eustáquio de Souza Carneiro, pela coorientação, exemplo profissional, disponibilidade, ensinamentos e convivência agradável.

Ao professor Cosme Damião Cruz, pela coorientação, disponibilidade e exemplo profissional.

Ao professor Moacil, pela disponibilidade e ensinamentos, desde a graduação, e pela participação na banca de defesa.

Ao professor José Ivo Ribeiro Jr e ao Doutor Renan Cardoso de Lima, pela disponibilidade e sugestões para melhoria deste trabalho.

Aos demais professores, pelos ensinamentos.

Aos meus pais, Adelson e Lúcia, pelo amor incondicional, pelo incentivo e por me ajudarem sempre em todos os momentos de minha vida.

Ao meu irmão Luciano e sua família, pelo amor, incentivo e torcida.

À minha irmã Máira, companheira querida, pelo amor e pela ajuda imprescindível.

Ao meu marido Bernardo, pelo amor, carinho, incentivo, compreensão e companheirismo incondicional.

Ao meu filho Leonardo, por preencher minha vida com amor e me fazer infinitamente mais feliz.

Aos colegas e amigos que fazem e fizeram parte do Programa Feijão, pela ajuda para realizar este trabalho e pelos momentos vividos juntos.

Aos amigos Renata Batista, Leonardo Corrêa, Rafael Silva e Mariane Borges, pela amizade sincera, pelo apoio, incentivo e por fazerem parte de minha vida.

Aos colegas do Laboratório de Biometria, pelo acolhimento.

Aos funcionários da Estação Experimental de Coimbra e da Agronomia, pelo auxílio na condução dos experimentos.

Aos secretários do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, Marco Túlio e Odilon pela disponibilidade.

E a todos que de alguma forma contribuíram para realização desse trabalho, MEUS SINCEROS AGRADECIMENTOS!

## SUMÁRIO

Resumo.....	vii
Abstract.....	ix
1. Introdução .....	1
2. Revisão bibliográfica.....	3
2.1. A cultura do feijoeiro.....	3
2.2. Arquitetura de planta.....	4
2.3. Interação Genótipo x Ambiente .....	6
2.4. Melhoramento por hibridação.....	7
2.5. Análise dialélica.....	7
3. Material e métodos.....	13
3.1. Material genético.....	13
3.2. Delineamento experimental e avaliações de campo.....	14
3.3. Análises genético-estatísticas.....	15
3.2.1. Análise dialélica parcial de Geraldi e Miranda Filho (1988) adaptado do método de Griffing (1956).....	15
3.2.2. Análise dialélica parcial de Viana et al. (1999) adaptado do método de Hayman (1954) .....	16
4. Resultados e discussão.....	18
4.1. Efeito de safras (Experimentos I e II) nas estimativas de parâmetros genéticos quanto à produtividade de grãos na Geração F <sub>1</sub> .....	18

4.2. Efeito de locais (Experimento III e IV) nas estimativas de parâmetros genéticos quanto à produtividade de grãos na Geração F <sub>2</sub> .....	22
4.3. Efeito de gerações (Experimento II e III) nas estimativas de parâmetros genéticos quanto à produtividade de grãos.....	25
4.4. Efeito de safras (Experimento I e II) nas estimativas de parâmetros genéticos quanto à arquitetura de planta na Geração F <sub>1</sub> .....	26
4.5. Efeito de locais (Experimento III e IV) nas estimativas de parâmetros genéticos quanto à arquitetura de planta na Geração F <sub>2</sub> .....	29
4.6. Efeito de gerações (Experimentos II e III) nas estimativas de parâmetros genéticos quanto à arquitetura de plantas.....	31
4.7. Análise dialélica parcial de Viana et al. (1999) adaptado do método de Hayman (1954).....	33
5. Conclusões.....	44
6. Referências.....	45

## RESUMO

MOURA, Lisandra Magna Moura, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2017. **Efeito de safras, locais e gerações nas estimativas de parâmetros da análise dialélica para arquitetura de plantas e produtividade de grãos em feijão.** Orientador: Pedro Crescêncio Souza Carneiro. Coorientadores: José Eustáquio de Souza Carneiro e Cosme Damião Cruz.

Os objetivos deste trabalho foram obter informações sobre os parâmetros genéticos de um dialelo parcial em feijão, bem como, avaliar os efeitos de safras, locais e gerações nestas estimativas com o intuito de definir as melhores estratégias para uso da análise dialélica como metodologia de seleção de genitores e de populações no melhoramento do feijoeiro. Para isso, foram utilizados cinco genitores de feijão de grãos pretos e sete genitores de grãos carioca, os quais diferem quanto à arquitetura de plantas, produtividade de grãos, resistência a doenças e tipo de grãos. Estes genitores foram cruzados em esquema de dialelo parcial (5 x 7). Os cinco genitores de grãos preto (L 20, Xamego, TB 94-01, BRS Valente e Diamante Negro) compuseram o grupo 1, enquanto os sete genitores de grãos tipo carioca (RP 1, BRS Estilo, VC 12, VC 20, CNFC 10720, MAI 1813 e VC 16) o grupo 2. As gerações  $F_1$  e  $F_2$  foram avaliadas em quatro experimentos (I, II, III e IV). Na quantificação do efeito de safras utilizou-se os experimentos I e II, em que a geração  $F_1$  foi avaliada em duas safras distintas. Para quantificar o efeito de locais utilizou-se os experimentos III e IV, em que a geração  $F_2$  foi avaliada na mesma safra, porém em locais diferentes e para quantificar o efeito de gerações, utilizou-se os experimentos II (geração  $F_1$ ) e III (geração  $F_2$ ) avaliados em uma mesma safra e local. As estimativas de parâmetros genéticos do dialelo parcial quanto à produtividade de grãos foram afetadas pelos efeitos de safras e locais. Quanto à arquitetura de plantas as estimativas de parâmetros genéticos não são afetadas pelos efeitos de safras e locais, mas pelos efeitos de gerações. Para arquitetura de planta a obtenção de estimativas dos parâmetros genéticos da análise dialélica parcial em feijoeiro deve ser realizada com base na geração  $F_1$ , enquanto que para produtividade pode se basear tanto em  $F_1$  quanto em  $F_2$ . O genitor TB 94-01 se destacou quanto à frequência de alelos favoráveis quanto à arquitetura de plantas. Já para produtividade de grãos os genitores Diamante Negro, BRS Estilo, CNFC 10720 e VC 16 se destacaram quanto à frequência de

alelos favoráveis. O inter cruzamento entre as combinações híbridas BRS Valente/BRS Estilo, L20/BRS Estilo, TB 94-01/VC 16, Diamante Negro/BRS Estilo é estratégia promissora para extração de linhagens de feijão preto superiores quanto à produtividade de grãos e arquitetura de plantas.

## ABSTRACT

MOURA, Lisandra Magna Moura, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2017. **Effect of growing seasons, locations and generations on the estimation of diallel parameters for plant architecture and grain yield.** Adviser: Pedro Crescêncio Souza Carneiro. Co-advisers: José Eustáquio de Souza Carneiro and Cosme Damião Cruz.

The objectives of this work were to obtain information about genetic parameters of a partial diallel in common bean, as well as to evaluate the effects of growing seasons, locations and generations in these estimates in order to define the best strategies for the use of diallel analysis as methodology of selection of parents and populations in common bean breeding. For this purpose, twelve parents were crossed in a partial diallel scheme (5x7). Group 1 was composed of black grain (L 20, Xamego, TB 94-01, BRS Valente and Diamante Negro) while the second group was composed of carioca bean lines (RP 1, BRS Estilo, VC 12, VC 20, CNFC 10720, MAI 1813 and VC 16). These parents differ in plant architecture, grain yield, disease resistance and grain type. The F<sub>1</sub> and F<sub>2</sub> generations were evaluated in four experiments (I, II, III, and IV). The effects of seasons were determined in the Experiments I and II, in which the F<sub>1</sub> generation was evaluated in two distinct growing seasons. To quantify the effect of locations, we used Experiments III and IV, in which the F<sub>2</sub> generation was evaluated in the same season, but at different locations, and to quantify the effect of generations, the experiments II (generation F<sub>1</sub>) and III (F<sub>2</sub> generation) were evaluated in the same season and location. For plant architecture, an effect of the interaction of the genetic parameters of the diallel was only observed for generations, whereas for grain yield, effects of seasons and location, but not of generations were observed. For plant architecture, the combining ability of parents should therefore be estimated for the F<sub>1</sub> generation, while for grain yield, both F<sub>1</sub> and F<sub>2</sub> can be used. For plant architecture, the parent TB 94-01 stand out for favorable alleles. For grain yield the parents Diamante Negro, BRS Estilo, CNFC 10720 and VC 16 stand out for the frequency of favorable alleles. The recombination between cross BRS Valente / BRS Estilo, L20 / BRS Estilo, TB 94-01 / VC 16, Diamante Negro / BRS Estilo combinations is a promising strategy for extraction of superior black bean lines in grain yield and plant architecture.

## **1. Introdução**

Além do feijão “carioca”, o mais cultivado no Brasil, outros tipos de feijão têm importância mais regionalizada, como é o caso do feijão preto. Esse tipo de feijão tem sua área de aceitação que corresponde aos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Rio de Janeiro e Espírito Santo (Faria et al., 2014). Apesar de ser o segundo tipo de feijão mais consumido no Brasil, sua produção, nos últimos anos, não tem sido suficiente para abastecer o mercado interno, necessitando de importações da ordem de 100 mil toneladas anuais (Pereira et al., 2013).

Na cultura do feijoeiro, além do potencial de produção e do aspecto comercial dos grãos, o porte ereto da planta é fundamental no processo de aceitação de um novo cultivar (Maziero et al., 2015). Plantas de arquitetura ereta apresentam como principal vantagem a possibilidade de colheita mecanizada com menores perdas. Além disso, facilitam os tratos culturais, proporcionam melhor qualidade dos grãos (Pereira et al., 2017) e menor ocorrência de doenças, como o mofo-branco (Miklas et al., 2006).

Em um programa de melhoramento, a compreensão da herança dos caracteres de interesse permite escolher a estratégia mais eficiente de seleção e o método mais adequado de melhoramento (Kelly e Adams, 1987). Nesse sentido, destacam-se os cruzamentos dialélicos, que têm por finalidade prover estimativas de parâmetros úteis na seleção de genitores para a hibridação e entendimento dos efeitos gênicos envolvidos na determinação dos caracteres (Cruz et al., 2012).

Entre as dificuldades que os melhoristas enfrentam destaca-se a expressão diferencial dos genes, que controlam os caracteres de interesse nos diferentes ambientes (safras, locais e anos), o que resulta na interação genótipo x ambiente.

Alguns autores relatam interações significativas para as estimativas de parâmetros do dialelo com ambientes em culturas como o trigo (Gowda et al., 2012), arroz (Torres e Geraldi, 2007) e linhaça (Patil e Chopde, 1981).

Nas análises dialélicas, os dados da geração  $F_1$  são usualmente utilizados para estimar parâmetros genéticos de caracteres de interesse. No entanto, ressalta-se que no feijoeiro, onde os cruzamentos são manuais e o número de sementes por cruzamento é reduzido, a obtenção de sementes  $F_1$  para a avaliação em mais de um ambiente é bastante trabalhosa. Nestas circunstâncias, alguns autores (Cho e Scott, 2000; Amiri-Ogham et al., 2009) têm sugerido a avaliação dos dialelos na geração  $F_2$ . Nesta geração, a quantidade de sementes é muito superior à da geração  $F_1$ , o que permite avaliar o dialelo em diferentes condições ambientais e quantificar os efeitos da interação genótipo x ambiente em suas estimativas de parâmetros genéticos.

Segundo Viana (2000), o uso da geração  $F_2$  supera um dos obstáculos à análise dialélica em algumas culturas autógamas, que é a obtenção de maior número de sementes híbridas para as avaliações experimentais. No entanto, segundo (Mather e Jinks, 1974), com a utilização da geração  $F_2$ , a análise da ação gênica devida à dominância torna-se menos eficiente e a ligação gênica pode ser um fator de distorção na estimação de parâmetros genéticos, o que não ocorre com base na geração  $F_1$ .

Assim, os objetivos com este trabalho foram obter informações sobre os parâmetros genéticos de um dialelo parcial em feijão, bem como, avaliar os efeitos de safras, locais e gerações nestas estimativas com o intuito de definir as melhores estratégias para uso da análise dialélica como metodologia de seleção de genitores e de populações no melhoramento do feijoeiro.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. A cultura do feijoeiro**

O feijão é a leguminosa mais importante como alimento para consumo humano direto em vários países da América Latina, África e Ásia (Blair et al., 2013). É uma excelente fonte de proteínas, carboidratos, minerais como ferro e zinco, além de algumas vitaminas e do aminoácido essencial lisina (Petry et al., 2015).

O Brasil é o maior produtor e consumidor de feijão-comum do mundo (Borém e Carneiro, 2015). A preferência do consumidor brasileiro é regionalizada e diferenciada, principalmente quanto à cor e ao tipo de grão. O tipo carioca é o mais cultivado e consumido no Brasil (Mapa, 2015). No entanto, outros tipos de feijão são cultivados no país, como os de grãos pretos (Faria et al., 2014). Esse tipo de feijão tem maior aceitação nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Rio de Janeiro e parte do Espírito Santo. Apesar de ser o segundo tipo de feijão mais consumido no Brasil, a produção de feijão preto nos últimos anos, tem sido insuficiente para o abastecimento do mercado interno, necessitando de importações da ordem de 100 mil toneladas anuais (Pereira et al., 2013).

No Brasil, a média de produtividade de feijão está em torno de 1050 kg ha<sup>-1</sup> (Conab, 2016), sendo considerada baixa, pois em alguns estados, como São Paulo e Goiás essa média supera 2000 kg ha<sup>-1</sup>. Agricultores que utilizam alta tecnologia ultrapassam a marca de 3000 kg ha<sup>-1</sup> (Borém e Carneiro, 2015). Essa baixa produtividade decorre principalmente pelo feijão, em sua maior parte, ser produzido por pequenos e médios produtores, com baixo nível tecnológico e, em algumas regiões, em consórcio com outras culturas.

Na maior parte do Brasil, o feijão é cultivado em três safras distintas: a safra das águas, com plantio nos meses de setembro a novembro; a safra da seca, com plantio de janeiro a março; e a safra de inverno, com plantio de abril a julho, com a presença de irrigação e temperaturas mais baixas (Pereira et al., 2010). As safras das águas e da seca, em geral, não são irrigadas e são consideradas mais dependentes de fatores climáticos. No primeiro caso, por coincidir a colheita com o período chuvoso, e, no segundo, por ser uma época em que as chuvas são bastante escassas, podendo ocorrer deficiência hídrica nas fases críticas da cultura, isto é, na floração, formação de vagens e enchimento de grãos. Já a safra de inverno, por ser irrigada, torna-se menos dependente de fatores climáticos e proporciona maior estabilidade de produção (Borém e Carneiro, 2015). Além disso, possibilita obtenção de grãos de melhor qualidade, pois a colheita é feita em período seco e permite que a cultura do feijão possa expandir sem concorrer com outras culturas, contribuindo para o uso mais eficiente da área. Nas áreas de cultivo da safra de inverno, utiliza-se alta tecnologia e é obrigatório o uso de irrigação. O cultivo de inverno tem atraído o empresário agrícola, pois, apesar de exigir elevados investimentos, a produção é praticamente garantida, com altos rendimentos (Araújo e Camelo, 2015). Entretanto, alguns gargalos tem limitado a produção, em especial a falta de cultivares com arquitetura adequada à colheita mecanizada.

## **2.2. Arquitetura de plantas**

A busca por plantas de feijão de arquitetura mais ereta têm despertado a atenção dos melhoristas de plantas há várias décadas (Pereira et al., 2017). Inicialmente, o interesse era reduzir as perdas na colheita, sobretudo quando esta ocorre em períodos de chuvas intensas. Em plantas mais eretas, o contato das

vagens com o solo úmido é menor, reduzindo as perdas e produzindo grãos de melhor qualidade. Posteriormente, com o aumento da mecanização agrícola, o uso de plantas mais eretas proporcionaram vantagens adicionais como maior facilidade na circulação de máquinas para operações de aplicação de defensivos agrícolas e, principalmente, para colheita mecanizada. Além disso, em lavouras de plantas mais eretas há maior circulação de ar, tornando o microclima menos favorável à incidência de patógenos, como o causador do mofo-branco (Miklas et al., 2006).

A arquitetura da planta do feijoeiro é determinada por vários outros caracteres, entre eles o hábito de crescimento, o porte da planta, o número e ângulo de ramificações, o número e comprimento dos entrenós, a altura da planta, a distribuição das vagens na planta e o diâmetro do hipocótilo (Santos e Vencovsky, 1986; Moura et al., 2013; Poersch, 2013).

Em função da arquitetura, as plantas de feijão são classificadas em quatro tipos: I, II, III e IV. Nesta classificação, considera-se principalmente o hábito de florescimento das plantas, que pode ser determinado ou indeterminado, e o porte da planta que pode ser ereto, prostrado e trepador (Santos e Gavilanes, 2015).

Plantas do tipo I apresentam hábito de crescimento determinado enquanto os demais tipos apresentam hábito indeterminado. O tipo II é caracterizado por plantas eretas, guia curta e maior número de internódios na haste principal. Plantas do tipo III são prostradas e de modo geral apresentam guia longa. Já as plantas do tipo IV apresentam forte dominância apical, portanto necessitam de tutoramento.

As informações existentes a respeito do controle genético da arquitetura de plantas em feijão indicam que esteja envolvido um grande número de genes e que

o efeito do ambiente é expressivo (Teixeira et al., 1999; Moreto et al., 2007; Oliveira et al., 2015). Assim, em condições de umidade e temperatura elevadas e solo rico em matéria orgânica, há tendência das plantas se tornarem decumbentes, prejudicando a avaliação e seleção (Ramalho e Abreu, 2015).

Embora existam inúmeros produtores de feijão tipicamente de agricultura familiar, grande parte da produção atual é proveniente de grandes empresas rurais (Pires, 2013). Assim, a colheita mecanizada do feijoeiro é uma realidade para muitos produtores. A colheita mecânica tem menor custo e maior eficiência. No entanto, muitos cultivares de feijão não possui arquitetura favorável à colheita totalmente mecanizada, podendo até inviabilizá-la ou proporcionar perdas elevadas durante a operação das máquinas (Silva e Wander, 2015).

### **2.3. Interação Genótipos x Ambientes**

A manifestação fenotípica é resultado da ação do genótipo sob a influência do meio. Na presença de dois ou mais ambientes, além dos efeitos genéticos e ambientais, têm-se um efeito proporcionado pela interação dos mesmos, denominada interação genótipos x ambientes (GxA) (Cruz et al., 2012).

No melhoramento, a avaliação da interação GxA é de grande importância, pois no caso de sua existência, há possibilidade de o melhor genótipo em um ambiente não o ser em outro, o que influencia o ganho de seleção e a recomendação de cultivares com ampla adaptabilidade (Cruz et al., 2012).

Nos programas de melhoramento do feijoeiro os genótipos são normalmente avaliados em diferentes ambientes, sejam estes representados por safras, anos e locais (Rocha, 2012). A ocorrência de interação GxA na cultura do feijoeiro é relatada por diversos autores, sobretudo para produtividade de grãos (Faria et al., 2013; Barili et al., 2015). No entanto, os programas de

melhoramento, em geral, consideram os efeitos da interação GxA apenas na fase de recomendação de cultivares. Assim, há poucas informações sobre interação genótipo x ambiente na fase inicial dos programas de melhoramento, ou seja, na escolha de genitores, o que poderá resultar na obtenção de linhagens com maior adaptabilidade e estabilidade.

#### **2.4. Melhoramento por hibridação**

O emprego da hibridação no melhoramento do feijoeiro é a principal fonte de novas linhagens, pois busca combinar em um mesmo indivíduo dois ou mais fenótipos desejáveis, os quais se encontram em indivíduos diferentes. A condução de um programa de melhoramento por hibridação requer decisões importantes como a escolha dos genitores, obtenção de populações segregantes e a escolha do método de condução das populações segregantes à homozigose, para extração de linhas puras (Carneiro et al., 2002).

Entre as metodologias utilizadas na escolha dos genitores estão os cruzamentos dialélicos (Vieira et al., 2005). Estes utilizam o desempenho *per se* dos genitores, associado ao desempenho de seus híbridos. A escolha dos potenciais genitores é feita com base nos seus valores genéticos e, principalmente, considerando a capacidade de se combinarem em híbridos que produzam populações segregantes promissoras (Ramalho et al., 1993).

#### **2.5. Análise dialélica**

As metodologias de análise dialélica têm por finalidade analisar o delineamento genético, provendo estimativas de parâmetros úteis na seleção de genitores para a hibridação e no entendimento dos efeitos genéticos envolvidos na determinação dos caracteres. A análise dialélica vem sendo utilizada em várias espécies autógamas, como feijão (Silva et al., 2013; Vale et al., 2015), arroz

(Torres e Geraldi, 2007), aveia (Ribeiro et al., 2011) e trigo (Pimentel et al., 2013; Khan, 2016).

Entre as metodologias mais comumente utilizadas citam-se a proposta por Griffing (1956), pela qual são estimados os efeitos e as somas de quadrados de efeitos da capacidade geral e específica de combinação. As estimativas de capacidade geral de combinação proporcionam informações sobre a concentração de genes predominantemente aditivos em seus efeitos. Já os efeitos da capacidade específica de combinação, estimados como o desvio do comportamento em relação ao que seria esperado com base na capacidade geral de combinação, são medidas dos efeitos gênicos não aditivos; a metodologia proposta por Gardner e Eberhart (1966), na qual são avaliados os efeitos de variedade e heterose varietal; e a proposta por Hayman (1954), que dá informações sobre o mecanismo básico de herança do caráter em estudo, dos valores genéticos dos progenitores utilizados e do limite de seleção.

Uma limitação dos esquemas dialélicos é o elevado número de cruzamentos necessários para se avaliar determinado número de genitores. Nesse sentido, destacam-se os dialelos parciais. Tais esquemas consistem em organizar os cruzamentos entre dois grupos distintos de genitores, sendo mais utilizado quando não há o interesse na avaliação de cruzamentos oriundos de genitores do mesmo grupo (Miranda Filho e Geraldi, 1984). Desta forma, permitem maximizar a exploração dos cruzamentos entre genitores que são complementares em relação a fenótipos desejáveis. Essencialmente, os dialelos parciais correspondem ao Delineamento II de Comstock e Robinson (1952), em que os efeitos de genitores são fixos e Miranda Filho e Geraldi (1984), Geraldi e Miranda Filho (1988) e

Viana (1999) o adaptaram aos modelos dialélicos de Gardner e Eberhart (1966), Griffing (1956) e Hayman (1954), respectivamente.

No modelo de Griffing (1956) adaptado a dialelos parciais, a análise pode ser realizada de duas maneiras distintas. A primeira consiste em desdobrar a soma de quadrados de tratamentos em soma de quadrados de genitores, soma de quadrados de cruzamentos e soma de quadrados de genitores versus cruzamentos. Posteriormente, a soma de quadrados de cruzamentos é desdobrada em somas de quadrados associadas à capacidade geral e específica de combinação. Já na segunda alternativa, a soma de quadrados de tratamentos é desdobrada em somas de quadrados associadas aos efeitos da capacidade geral e específica de combinação. Há também um grau de liberdade adicional que testa o contraste entre grupos de genitores (Cruz et al., 2012). O modelo proposto por Geraldi e Miranda Filho (1988), adaptado do modelo de Griffing (1956) é o seguinte:  $Y_{ij} = \mu + \frac{1}{2}(d_1 + d_2) + g_i + g'_j + s_{ij} + \bar{e}_{ij}$ , em que  $Y_{ij}$ , é a média do cruzamento que inclui o  $i$ -ésimo genitor do grupo 1 e o  $j$ -ésimo genitor do grupo 2;  $\mu$  é a média geral do dialelo;  $d_1$  e  $d_2$  são os contrastes que incluem as médias dos grupos 1 e 2 e a média geral;  $g_i$  é o efeito da capacidade geral de combinação do  $i$ -ésimo genitor do grupo 1;  $g'_j$  é o efeito da capacidade geral de combinação do  $j$ -ésimo genitor do grupo 2;  $s_{ij}$  é o efeito da capacidade específica de combinação; e  $\bar{e}_{ij}$ , é o erro experimental médio.

O modelo de Gardner e Eberhart (1966), adaptado por Miranda Filho e Geraldi (1984), é utilizado para estudo detalhado da heterose em dialelos parciais. Por meio desta metodologia a soma de quadrados de tratamentos é decomposta em soma de quadrados associadas aos efeitos de grupos, da heterose e do contraste do grupo 1 vs grupo 2. Há um detalhamento da heterose manifestada nos

híbridos, decompondo sua soma de quadrados em heterose média, heterose atribuída aos vários genótipos dentro de cada grupo e heterose específica (Cruz et al., 2004), conforme modelo descrito a seguir:  $Y_{ij} = u + \alpha d + \frac{1}{2}(v_i + v_j) + \theta(\bar{h} + h_i' + s_{ij}) + \bar{\epsilon}$ , em que:  $Y_{ij}$  é a média do cruzamento envolvendo o i-ésimo progenitor do grupo 1 e o j-ésimo progenitor do grupo 2;  $Y_{i0}$  é a média do i-ésimo progenitor do grupo 1 ( $i = 0, 1, 2 \dots p$ ), com  $\alpha = 1$  e  $\theta = 0$ ;  $Y_{0j}$  é a média do j-ésimo progenitor do grupo 2 ( $j = 0, 1, 2 \dots q$ ), com  $\alpha = -1$  e  $\theta = 0$ ;  $u$ : constante associada ao modelo;  $d$ : medida da diferença entre médias dos dois grupos;  $v_i$  efeito do i-ésimo progenitor do grupo 1;  $v_j'$  efeito do j-ésimo progenitor do grupo 2;  $\bar{h}$  efeito da heterose média;  $h_i$  efeito da heterose atribuído ao i-ésimo progenitor do grupo 1;  $h_j'$  efeito da heterose atribuído ao j-ésimo progenitor do grupo 2;  $s_{ij}$  efeito da heterose específica resultante do cruzamento entre progenitores de ordem i e j, dos grupos 1 e 2, respectivamente;  $\bar{\epsilon}$  erro experimental médio.

As modificações fundamentadas no método proposto por Hayman (1954), adaptadas a dialelos parciais, são apresentadas por Viana et al. (1999 e 2000). A metodologia proposta por Hayman (1954) não se baseia em modelos estatísticos previamente estabelecidos, mas em médias, variâncias e covariâncias. De acordo com Viana et al. (1999), a análise da tabela dialélica permite estimar os seguintes componentes genéticos:

1) Variância das médias genotípicas dos genitores do grupo 1:

$$V_{(pr)} = \sum_{a=1}^k d_a^2 (1-w_a^2) = 4 \sum_{a=1}^k u_a v_a d_a^2 = D_{(1)}$$

2) Variância das médias genotípicas dos genitores do grupo 2:

$$V_{(pr)} = \sum_{a=1}^k d_a^2 (1-w_a'^2) = 4 \sum_{a=1}^k u'_a v'_a d_a^2 = D_{(2)}$$

3) Covariância entre a média genotípica do híbrido do genitor r e a média do genitor do grupo 2:

$$\frac{1}{2} W_r = \frac{1}{2} D_{(2)} - \frac{1}{4} F_r$$

$$F_r = 2 \sum_{a=1}^k d_a h_a \theta_{ra} (1 - w_a'^2)$$

4) Variância das médias genotípicas dos híbridos do genitor r:

$$V_r = \frac{1}{4} D_{(2)} - \frac{1}{4} F_r + \frac{1}{4} H_{1(2)}$$

$$H_{1(2)} = \sum_{a=1}^k h_a^2 (1 - w_a^2) = 4 \sum_{a=1}^k u'_a v'_a h_a^2$$

5) Covariância entre a média genotípica do híbrido do genitor s e a média do genitor do grupo 1:

$$W_s = \frac{1}{2} D_{(1)} - \frac{1}{4} F_s$$

$$F_s = 2 \sum_{a=1}^k d_a h_a \theta_{sa} (1 - w_a'^2)$$

6) Variância das médias genotípicas dos híbridos do genitor s:

$$V_s = \frac{1}{4} D_{(2)} - \frac{1}{4} F_s + \frac{1}{4} H_{1(2)}$$

$$H_{1(2)} = \sum_{a=1}^k h_a^2 (1 - w_a^2) = 4 \sum_{a=1}^k u_a v_a h_a^2$$

7) Covariância entre média genotípica do híbrido do genitor r e média do grupo 2:

$$W_{01(r)L1} = \frac{1}{4} D_{(2)} - \frac{1}{8} F_r - \frac{1}{8} F_{(1)} + \frac{1}{4} H_{1(2)} - H_{2r}$$

$$H_{2r} = \sum_{a=1}^k h_a^2 (1 - w_a^2) (1 - w_a^2)$$

8) Covariância entre média genotípica do híbrido do genitor s e média do grupo 1:

$$W_{01(s)L1} = \frac{1}{4} D_{(2)} - \frac{1}{8} F_s - \frac{1}{8} F_{(1)} + \frac{1}{4} H_{1(2)} - H_{2s}$$

$$H_{2s} = \sum_{a=1}^k h_a^2 (1 - w_a^2) (1 - w_a^2)$$

9) Variância das médias genotípicas dos genitores do grupo 1:

$$V_{0L1(1)} = \frac{1}{4} D_{(1)} - \frac{1}{4} F_{(2)} + \frac{1}{4} H_{1(2)} - H_2$$

$$H_{2s} = \sum_{a=1}^k h_a^2 (1 - w_a^2) (1 - w_a^2) = 16 \sum_{a=1}^k v'_a h_a^2 u'_a v'_a$$

10) Variância das médias genotípicas dos genitores do grupo 2:

$$V_{0L1(1)} = \frac{1}{4} D_{(2)} - \frac{1}{4} F_{(1)} + \frac{1}{4} H_{1(2)} - H_2$$

11) Variância das médias genotípicas dos híbridos F1:

$$V_{F1} = \frac{1}{4} D_{(1)} + D_{(2)} - F_{(1)} - F_{(2)} + H_{1(1)} + H_{1(2)} - H_2$$

A análise da magnitude e significância dos componentes aditivos  $D_{(1)}$  e  $D_{(2)}$  permite inferir sobre a variabilidade genética em cada grupo de genitores. Se o componente aditivo de um grupo é diferente de zero, evidencia-se presença de variabilidade genética. Quando  $D_{(1)} - D_{(2)} < 0$ , evidencia-se maior variabilidade no grupo 2. Se a variabilidade é maior no grupo 1, então  $D_{(1)} - D_{(2)} > 0$  (Viana et al., 1999). O componente F de um genitor pode ser negativo, nulo ou positivo. Quando negativo indica que o genitor tem maior número de genes recessivos ( $h_a\theta_a < 0$ ). Se for positivo o genitor tem maior número de genes dominantes ( $h_a\theta_a > 0$ ). Se não há dominância os valores de F dos genitores são nulos. Se há dominância, mas o F de um genitor é igual a zero, indica que o mesmo é portador de, aproximadamente, mesmo número de genes dominantes e recessivos. Quanto maior o valor de F de um genitor, maior número de genes dominantes não fixados no outro grupo de genitores ele possui. O valor médio de F de um grupo de genitores (F médio e F' médio) indica as frequências relativas dos genes dominantes e recessivos (Viana et al., 1999). Quando existir variabilidade entre os genitores de um grupo, o componente  $H_1$  será nulo na ausência de dominância e positivo na presença. O mesmo pode ser observado para os componentes  $H_{2r}$ ,  $H_{2s}$  e  $H_2$ .

Na presença de dominância, quanto menor o valor do componente  $H_2$  de um genitor, maior a concentração de genes mais frequentes no grupo ao qual ele pertence e não fixados no outro grupo de genitores.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Material genético

Para a realização deste trabalho foram utilizados cinco genitores de feijão de grãos pretos e sete genitores de grãos carioca os quais diferem quanto à arquitetura de plantas, resistência a doenças, produtividade de grãos. Estes genitores foram cruzados em esquema de dialelo parcial 5 x 7. O grupo 1 foi composto por cinco linhagens (L 20, Xamego, TB 94-01, BRS Valente e Diamante Negro) ; o grupo 2, por sete linhagens (RP 1, BRS Estilo, VC 12, VC 20, CNFC 10720, MAI 1813 e VC 16). Os genitores utilizados foram selecionados em função de seus desempenhos quanto à produtividade e outros caracteres de interesse (Tabela1).

Tabela1 - Descrição dos genitores utilizados nos cruzamentos dialélicos

Genitor <sup>1</sup>	Origem	Tipo de grão	Porte	Resistência
L 20	UFV	Preto	Ereto	Ferrugem/Antracnose
Xamego	EMBRAPA	Preto	Ereto	Murcha-de-fusário
TB 94-01	EMBRAPA	Preto	Ereto	Antracnose
BRS Valente	EMBRAPA	Preto	Ereto	Antracnose
Diamante Negro	EMBRAPA	Preto	Semi-prostrado	Bacteriose
RP 1	UFLA	Carioca	Ereto	Murcha-de-fusário
BRS Estilo	EMBRAPA	Carioca	Ereto	Ferrugem
VC 12	UFV	Carioca	Semi-ereto	Ferrugem
VC 20	UFV	Carioca	Semi-ereto	Ferrugem
CNFC 10720	EMBRAPA	Carioca	Semi-ereto	Mofa-branco
MAI 1813	UFLA	Carioca	Semi-ereto	Mancha-angular
VC 16	UFV	Carioca	Ereto	Mancha-angular

<sup>1</sup> Os cinco primeiros genitores constituíram o grupo 1 e os demais o grupo 2 nos cruzamentos dialélicos.

### **3.2. Delineamento experimental e avaliações de campo**

Foram conduzidos quatro experimentos, conforme descritos a seguir:

Experimento I: Os 35 híbridos  $F_1$ 's (geração  $F_1$ ), juntamente com os 12 genitores (47 tratamentos), foram avaliados na safra de inverno de 2012. Os 47 tratamentos foram semeados no campo, em delineamento de blocos casualizados com três repetições. As parcelas foram constituídas de três linhas de um metro (m), com densidade de plantio de 15 sementes por metro e espaçamento entre linhas de 0,50 m. Este experimento foi conduzido na Estação Experimental do Departamento de Fitotecnia- Universidade Federal de Viçosa, em Coimbra, estado de Minas Gerais, situada a 690 metros de altitude,  $20^{\circ}45'S$  de latitude e  $42^{\circ}51'W$  de longitude.

Experimento II: Os 35 híbridos  $F_1$ 's (geração  $F_1$ ), juntamente com os 12 genitores (47 tratamentos), também foram avaliados na safra da seca de 2013, em Coimbra-MG. O delineamento experimental e a estrutura das parcelas foram os mesmos do experimento I.

Experimento III: A geração  $F_2$ , oriunda da autofecundação dos híbridos  $F_1$ 's, juntamente com os 12 genitores (47 tratamentos) foi avaliada na safra da seca de 2013, em Coimbra-MG. As sementes  $F_2$  foram obtidas por amostragem, a partir da geração  $F_1$  colhida em bulk no experimento I. Foi utilizado o delineamento de blocos casualizados com três repetições. As parcelas foram constituídas de quatro linhas de quatro metros (m), com densidade de plantio de 15 sementes por metro e espaçamento entre linhas de 0,50 m.

Experimento IV: A geração  $F_2$ , oriunda da autofecundação dos híbridos  $F_1$ 's, juntamente com os 12 genitores (47 tratamentos), também foi avaliada na safra da seca de 2013, em Viçosa, estado de Minas Gerais, situada à 648 m de

altitude, 20°45'14''S de latitude e 42°52'55''W de longitude. O delineamento experimental e a estrutura das parcelas foram os mesmos do experimento III.

Em todos os experimentos, os tratos culturais adotados foram os recomendados para a cultura do feijoeiro na região.

A arquitetura de plantas foi avaliada por meio de escala de notas proposta por Ramalho et al. (1998). Esta escala varia de 1 a 5, em que: 1- planta ereta com uma haste, poucas ramificações; 2- planta ereta com algumas ramificações, guia curta; 3- planta semiprostrada com ramificações, guia mediana; 4- planta prostrada com ramificações, guia longa; 5- planta completamente prostrada com muitas ramificações, guias muito longas.

Após a colheita, as parcelas foram trilhadas, pesadas e obtida a produtividade de grãos em kg ha<sup>-1</sup>.

### **3.3. Análises genético-estatísticas**

#### **3.3.1. Análise dialélica parcial de Geraldi e Miranda Filho (1988) adaptado do método de Griffing (1956)**

Os dados de arquitetura de plantas e produtividade de grãos de cada um dos quatro experimentos foram submetidos à análise dialélica individual pelo modelo de Griffing (1956), adaptado a dialelo parcial por Geraldi e Miranda Filho (1988), dado por:  $Y_{ij} = \mu + \frac{1}{2}(d_1 + d_2) + g_i + g'_j + s_{ij} + \bar{e}_{ij}$ , em que  $Y_{ij}$  é a média do cruzamento que inclui o i-ésimo genitor do grupo 1 e o j-ésimo genitor do grupo 2;  $\mu$  é a média geral do dialelo;  $d_1$  e  $d_2$  são os contrastes que incluem as médias dos grupos 1 e 2 e a média geral;  $g_i$  é o efeito da capacidade geral de combinação do i-ésimo genitor do grupo 1;  $g'_j$  é o efeito da capacidade geral de combinação

do j-ésimo genitor do grupo 2;  $s_{ij}$  é o efeito da capacidade específica de combinação; e  $\bar{e}_{ij}$ , é o erro experimental médio.

Para quantificar o efeito de safras nas estimativas dos parâmetros genéticos do dialelo ( $CGC_1$ ,  $CGC_2$  e  $CEC$ ) foi realizada a análise conjunta dos experimentos I e II, em que os genitores e híbridos  $F_1$ 's foram avaliados em diferentes safras (inverno de 2012 e seca de 2013). Já para quantificar o efeito de locais nas estimativas dos parâmetros genéticos do dialelo foram utilizados os experimentos III e IV, em que os genitores e a geração  $F_2$  foram avaliados na mesma safra, porém em locais diferentes (Viçosa-MG e Coimbra-MG). Para quantificar o efeito de gerações, foram utilizados os experimentos II (genitores e híbridos  $F_1$ 's) e III (genitores e geração  $F_2$ ) avaliados na safra da seca de 2013 em Coimbra-MG.

A importância relativa dos efeitos aditivos e de dominância, envolvidos no controle genético dos caracteres arquitetura de plantas e produtividade de grãos, foi determinada pela estatística  $\theta$ , dada por: 
$$\theta = \frac{\varphi_{CGC_1} + \varphi_{CGC_2}}{\varphi_{CGC_1} + \varphi_{CGC_2} + \varphi_{CEC}}$$
, conforme Torres e Geraldi (2007), modificado de Baker (1978). O valor de  $\theta$  será igual a um (1) se  $\varphi_{CEC}$  for igual a zero (0), será igual à 0,5 se  $\varphi_{CEC} = \varphi_{CGC_1} + \varphi_{CGC_2}$  e  $\theta$  será menor que 0,5 quando  $\varphi_{CEC} > \varphi_{CGC_1} + \varphi_{CGC_2}$ .

### **3.3.2. Análise dialélica parcial de Viana et al. (1999) adaptado do método de Hayman (1954)**

A suficiência do modelo aditivo-dominante foi avaliada pelo coeficiente de regressão linear de  $W_r$  em função de  $V_r$  (sendo  $r = 1, 2, \dots, 5$ ) para o grupo 1 e de  $W_s$  em função de  $V_s$  (Sendo  $s = 1, 2, \dots, 7$ ) para o grupo 2, em que :  $W_r$  é a covariância entre a média dos híbridos do genitor r (grupo 1) e a média dos

genitores do grupo 2;  $V_r$  é a variância das médias dos híbridos do genitor  $r$  (grupo 1);  $W_s$  é a covariância entre a média dos híbridos do genitor  $s$  (grupo 2) e a média de genitores do grupo 1 e  $V_s$  a variância das médias dos híbridos do genitor  $s$  (grupo 2). Dois testes para os coeficientes de regressão, pela estatística  $t$ , foram realizados. No primeiro é testado se o coeficiente de regressão não difere de 1, e se afirmativo, conclui-se que a hipótese formulada a priori é válida. No segundo teste, também baseado na estatística  $t$ , pondera-se  $W_r$  e  $V_s$  por meio de uma rotação de  $45^\circ$  dos eixos representados por  $W_r$  e  $V_s$ . Assim, com os novos valores, testa-se a hipótese  $H_0: b' = 0$  ( $b'$  é o coeficiente da regressão após a rotação) pela estatística  $t$  ou  $F$  associada a  $1$  e  $p - 2$  graus de liberdade (Cruz et al.; 2012).

Foram estimados os seguintes componentes genéticos e ambiental:  $D_{(1)}$  e  $D_{(2)}$  componentes associados aos efeitos aditivos;  $H_{1(1)}$ ,  $H_{1(2)}$ ,  $H_2$ : componentes associados aos efeitos de dominância;  $F$ : componente associado à covariância entre efeitos aditivos e não aditivos;  $h^2$ : componente quadrático determinado pela diferença de média entre híbridos e pais;  $\epsilon$ : componente de variância ambiental.

A significância de cada componente foi testada pela estatística  $t$ , obtida pela razão entre as estimativas dos parâmetros genéticos pelo seu respectivo desvio padrão. Como, neste caso, os graus de liberdade associados a esta estatística não estão bem estabelecidos, considerou-se conforme Singh and Chaudhary (1979), que valores de  $t$  acima de 1,96 foram significativos à 5% de probabilidade.

Em todas as análises estatísticas foram utilizados os recursos computacionais do Programa Genes (Cruz, 2013).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Efeito de safras (Experimentos I e II) nas estimativas de parâmetros genéticos quanto à produtividade de grãos na geração F<sub>1</sub>

Na safra do inverno de 2012 (Experimento I), apenas a CGC dos genitores do grupo 1 (CGC<sub>1</sub>) apresentou efeito significativo, indicando que os genitores desse grupo diferem quanto às suas frequências alélicas, contribuindo diferentemente para os cruzamentos em que estão envolvidos (Tabela 2 – análise individual). No dialelo parcial as frequências alélicas de um grupo são relativas ao outro grupo de genitores. Na safra da seca de 2013 (Experimento II), observou-se diferença na frequência de alelos favoráveis entre os genitores dentro de cada um dos grupos do dialelo, pois a CGC dos genitores de ambos os grupos (CGC<sub>1</sub> e CGC<sub>2</sub>) apresentou efeito significativo. A CEC de ambas as safras foi significativa indicando divergência genética entre os genitores de grupos diferentes.

Observou-se diferença entre as médias dos dois grupos (G<sub>1</sub> vs G<sub>2</sub>) apenas na safra de inverno de 2013 (Experimento I) (Tabela 2 – análise individual). O grupo 2 foi superior quanto à produtividade de grãos.

Na safra de inverno de 2012 (Experimento I) houve uma ligeira superioridade dos efeitos aditivos no controle genético da produtividade de grãos, observada pela maior importância relativa ( $\theta = 0,55$ ) entre os componentes da CGC (CGC<sub>1</sub> + CGC<sub>2</sub>) e CEC, enquanto que na safra da seca de 2013 (Experimento II) predominaram efeito de dominância no controle genético desta característica ( $\theta = 0,21$ ) (Tabela 2 – análise individual). Estes resultados sinalizam que diferentes conjuntos gênicos, envolvidos no controle genético de produtividade de grãos, estão se expressando em cada safra.

Tabela 2. Resumo das análises dialélicas individuais referentes aos experimentos I, II, III e IV e da análise conjunta de safras (Experimentos I e II), locais (Experimentos III e IV) e gerações (Experimentos II e III) para produtividade de grãos do feijoeiro

Análises individuais (QM)					
Fonte de variação	GL	Experimento I <sup>a</sup>	Experimento II <sup>b</sup>	Experimento III <sup>c</sup>	Experimento IV <sup>d</sup>
CGC <sub>1</sub>	4	342663,1 <sup>ns</sup>	1403614,1**	417267,3**	2231256,2**
CGC <sub>2</sub>	6	7888078,5**	781542,2**	948829,2**	1715334,9**
CEC	35	903997,5**	1120061,7**	150920,4**	893149,4**
G <sub>1</sub> vs G <sub>2</sub>	1	901697,5*	456673,4 <sup>ns</sup>	532167,1**	921157,4 <sup>ns</sup>
Resíduo	92	217811,4	304214,3	64327,1	459402,0
Média G <sub>1</sub>		2130,5	3722,2	3704,0	2612,0
Média G <sub>2</sub>		2640,4	3763,9	3547,0	3013,7
CV (%)		15,7	12,1	6,5	22,1
$\theta$		0,55	0,21	0,63	0,49
Análises conjuntas (QM)					
Fonte de variação	GL	Safras <sup>1</sup>	Locais <sup>2</sup>	Gerações <sup>3</sup>	
		Experimentos I e II	Experimentos III e IV	Experimentos II e III	
CGC <sub>1</sub>	4	837993,7 <sup>ns</sup>	1315648,9 <sup>ns</sup>	1576674,9*	
CGC <sub>2</sub>	6	532109,6 <sup>ns</sup>	1873602,1 <sup>ns</sup>	1367116,9*	
CEC	35	1635024,6**	680247,5*	924449,9**	
G <sub>1</sub> vs G <sub>2</sub>	1	37483,6 <sup>ns</sup>	26512,4 <sup>ns</sup>	987327,0*	
Ambientes	1	79279,1 <sup>ns</sup>	21365,4 <sup>ns</sup>	13987,1 <sup>ns</sup>	
CGC <sub>1</sub> x Ambiente <sup>1,2,3</sup>	4	9082834**	1332874,2**	244183,5 <sup>ns</sup>	
CGC <sub>2</sub> x Ambiente	6	3348527,0**	790562,5**	363259,7 <sup>ns</sup>	
CEC x Ambiente	35	389034,6*	363822,5 <sup>ns</sup>	346526,1**	
(G <sub>1</sub> vs G <sub>2</sub> ) x Ambiente	1	1320887,4*	1426811,5*	1440,5 <sup>ns</sup>	
Resíduo combinado	184	261012,9	280781,1	184270,73	

<sup>a</sup> Avaliação da geração F<sub>1</sub> na safra de inverno de 2012, em Coimbra-MG. <sup>b</sup> Avaliação da geração F<sub>1</sub> na safra da seca de 2013, em Coimbra-MG. <sup>c</sup> Avaliação da geração F<sub>2</sub> na safra da seca de 2013 em Coimbra-MG.

<sup>d</sup> Avaliação da geração F<sub>2</sub> na safra da seca de 2013 em Viçosa-MG.

CGC<sub>1</sub>: Capacidade geral de combinação do grupo 1. CGC<sub>2</sub>: Capacidade geral de combinação do grupo 2.

CEC: Capacidade específica de combinação.

<sup>ns</sup>: Não significativo; \* e \*\* Significativo, respectivamente, ao nível de 5 e 1% pelos teste F.

$$\theta = \frac{\varphi_{CGC_1} + \varphi_{CGC_2}}{\varphi_{CGC_1} + \varphi_{CGC_2} + \varphi_{CEC}}$$

Na literatura, alguns trabalhos relatam a predominância de efeito aditivo (Nienhuis and Singh, 1988; Kurek et al., 2001), enquanto outros relatam maior importância de efeito de dominância (Silva et al., 2013; Vale et al., 2015) no controle genético da produtividade de grãos. Predominância de efeito de dominância no controle genético de um caráter indica que a abertura de linhas deva ocorrer em gerações mais avançadas de endogamia, como em F<sub>4</sub> (Silva et al., 2013).

A análise dialélica conjunta de safras (Experimentos I e II) evidenciou a existência de efeitos significativos para a interação CGC<sub>1</sub> x Safras, CGC<sub>2</sub> x Safras e CEC x Safras (Tabela 2 - análise conjunta). Resultados similares foram relatados por Vale et al. (2015) na avaliação de um dialelo parcial de feijão avaliado em diferentes safras. Estes resultados indicam expressão diferencial dos genes envolvidos no controle genético da produtividade de grãos em função de variações decorrentes de safras. Alguns autores sugerem que a ocorrência de doenças seja a principal causa de interação na cultura do feijão, por ser influenciada pelas condições climáticas particulares de cada safra (Torga et al.; 2013; Oliveira et al., 2006). Assim, a escolha de genitores, para cruzamentos visando incremento na produtividade de grãos não pode ser realizada com base na avaliação do dialelo em uma única safra. No presente estudo a escolha deve ser baseada em informações das duas safras.

Na safra do inverno de 2012 (Experimento I), destacaram-se os genitores BRS Estilo e CNFC 10720 do grupo 2, com as maiores e significativas estimativas de CGC (Tabela 3). Já na safra da seca de 2013 (Experimento II), se destacou o genitor Diamante Negro, do grupo 1.

Tabela 3. Estimativas dos efeitos da CGC<sub>1</sub> e CGC<sub>2</sub> para produtividade de grãos do feijoeiro nos experimentos I, II, III e IV

Grupo1	CGC <sub>1</sub>			
	Experimento I <sup>a</sup>	Experimento II <sup>b</sup>	Experimento III <sup>c</sup>	Experimento IV <sup>d</sup>
L 20	-47,2	-36,0	13,6	-380,0**
Xamego	127,0	-234,2**	-73,7	9,83
TB 94-01	-117,5	66,2	64,7	-102,3
BRS Valente	-46,9	-108,7	-145,0**	192,3
Diamante Negro	84,6	312,7**	140,5**	280,2**
Erro padrão ( $\hat{\sigma}_i$ )	72,7	85,9	39,5	105,5
Grupo 2	CGC <sub>2</sub>			
RP 1	-780,2**	-55,3	-241,2**	-443,1
BRS Estilo	817,4**	44,6	12,3	347,8**
VC 12	-592,3**	-19,3**	70,7	-10,4
VC 20	116,5	-190,0	-257,1**	-72,6
CNFC 10720	324,1**	76,7	243,4**	-102,6
MAI 1813	49,0	24,5	25,2	205,5
VC 16	65,5	295,8**	146,7**	75,4
Erro padrão ( $\hat{\sigma}_j$ )	83,1	98,3	45,2	120,8

<sup>a</sup> Avaliação da geração F<sub>1</sub> na safra de inverno de 2012, em Coimbra-MG,

<sup>b</sup> Avaliação da geração F<sub>1</sub> na safra da seca de 2013, em Coimbra-MG,

<sup>c</sup> Avaliação da geração F<sub>2</sub> na safra da seca de 2013 em Coimbra-MG,

<sup>d</sup> Avaliação da geração F<sub>2</sub> na safra da seca de 2013 em Viçosa-MG,

\* e \*\* Significativo, respectivamente, ao nível de 5 e 1% pelos teste t.

CGC<sub>1</sub>: Capacidade geral de combinação do grupo 1.

CGC<sub>2</sub>: Capacidade geral de combinação do grupo 2.

Estes genitores apresentam maior frequência de alelos favoráveis envolvidos no controle genético da produtividade de grãos.

Quanto às combinações híbridas, se destacaram BRS Valente/BRS Estilo e L20/BRS Estilo, na safra do inverno de 2012 (Experimento I), e TB 94-01/VC 16, na safra da seca de 2013 (Experimento II) (Tabela 4). Ambas apresentaram as maiores estimativas de CEC com pelo menos um genitor de alta CGC. Assim, as populações segregantes oriundas destes cruzamentos apresentam potencial para extração de linhagens superiores quanto à produtividade de grãos.

#### **4.2. Efeito de locais (Experimentos III e IV) nas estimativas de parâmetros genéticos quanto à produtividade de grãos na geração F<sub>2</sub>**

Os efeitos de CGC<sub>1</sub>, CGC<sub>2</sub> e CEC foram significativos nos diferentes locais de avaliação da geração F<sub>2</sub>, Coimbra (Experimento III) e Viçosa (Experimento IV) (Tabela 2 - análise individual). O contraste entre os dois grupos de genitores foi significativo apenas na avaliação em Coimbra (Experimento III). O grupo 1 foi superior, pois apresentou maior média para essa característica.

Em Coimbra (Experimento III) houve predominância de efeito aditivos, observada pela maior importância relativa ( $\theta$ ) do componente da CGC (CGC<sub>1</sub> + CGC<sub>2</sub>) em relação à CEC, enquanto que em Viçosa (Experimento IV), houve equivalência entre os efeitos aditivos e de dominância com valores de  $\theta$  de 0,63 e 0,49, respectivamente.

A análise dialélica conjunta de locais (Experimentos III e IV – geração F<sub>2</sub>) indicou a existência de efeitos significativos para as estimativas da interação CGC<sub>1</sub> x Locais e CGC<sub>2</sub> x Locais (Tabela 2 – análise conjunta).

Tabela 4. Estimativas dos efeitos da CEC entre genitores dos grupos 1 e 2 para produtividade de grãos nos Experimentos I, II, III e IV

Cruzamento	Exp. I	Exp. II	Exp. III	Exp. IV
L 20 / RP 1	277,2	40,2	215,9	193,6
L 20 / BRS Estilo	648,0**	365,8	157,5	485,3
L 20 / VC 12	-191,8	1002,6**	325,1*	-303,5
L 20 / VC 20	216,8	194,4	90,3	-265,5
L 20 / CNFC 10720	-553,2*	48,9	-90,7	46,0
L 20 / MAI 1813	136,2	-87,6	23,4	-346,9
L 20 / VC 16	445,4	181,2	211,7	449,1
Xamego / RP 1	-107,9	134,8	94,2	-372,6
Xamego / BRS Estilo	100,1	194,0	110,6	-228,3
Xamego / VC 12	-7,2	-286,6	166,8	-363,4
Xamego / VC 20	749,3**	413,9	147,5	313,2
Xamego / CNFC 10720	182,7	295,2	51,0	-289,4
Xamego / MAI 1813	-134,6	51,4	-85,2	434,7
Xamego / VC 16	678,1**	-57,2	55,1	716,0
TB 94-01 / RP 1	-159,4	-61,9	-88,1	-115,1
TB 94-01 / BRS Estilo	174,4	189,6	-119,6	-101,0
TB 94-01 / VC 12	196,6	478,7	96,7	926,1*
TB 94-01 / VC 20	220,5	335,5	87,1	4,7
TB 94-01 / CNFC 10720	242,3	68,8	164,6	116,4
TB 94-01 / MAI 1813	546,9*	457,7	129,2	338,0
TB 94-01 / VC 16	482,4*	611,9*	222,3	450,8
BRS Valente / RP 1	-89,4	534,8	237,9	-258,5
BRS Valente / BRS Estilo	1076,9**	90,8	284,4*	346,7
BRS Valente / VC 12	-258,8	361,3	61,8	383,3
BRS Valente / VC 20	-61,0	-85,3	222,92	27,8
BRS Valente / CNFC 10720	327,0	484,2	224,0	1274,5**
BRS Valente / MAI 1813	50,8	743,0*	-86,2	-32,4
BRS Valente / VC 16	356,2	524,1	-133,7	-419,8
Diamante Negro / RP 1	89,9	294,5	-64,7	-225,3
Diamante Negro / BRS Estilo	556,9*	205,9	203,8	957,1*
Diamante Negro / VC 12	538,4*	317,2	-101,8	-285,7
Diamante Negro / VC 20	-344,3	181,4	157,7	-423,3
Diamante Negro / CNFC 10720	347,2	255,1	-116,0	-1083,9**
Diamante Negro / MAI 1813	326,3	473,9	107,1	194,5
Diamante Negro / VC 16	-363,6	420,8	61,2	281,6
Erro padrão ( $\hat{\sigma}_{ij}$ )	242,6	286,7	131,8	366,5

Experimento I: Avaliação da geração F<sub>1</sub> na safra de inverno de 2012, em Coimbra-MG.

Experimento II: Avaliação da geração F<sub>1</sub> na safra da seca de 2013, em Coimbra-MG.

Experimento III: Avaliação da geração F<sub>2</sub> na safra da seca de 2013 em Coimbra-MG.

Experimento IV: Avaliação da geração F<sub>2</sub> na safra da seca de 2013 em Viçosa-MG.

\* e \*\* Significativo, respectivamente, ao nível de 5 e 1% pelos teste t.

Esses resultados indicam que as estimativas de  $CGC_1$  e  $CGC_2$  são influenciadas de forma diferenciada pelo efeito de locais. Também neste caso, a escolha de genitores, para produtividade de grãos, deve levar em conta os dois ambientes de avaliação (locais).

Em Coimbra (Experimento III) destacaram-se os genitores Diamante Negro, do grupo 1, e os genitores CNFC 10720 e VC 16, do grupo 2, com estimativas de CGC significativas e de maior magnitude (Tabela 3). Já em Viçosa (Experimento IV) se destacaram os genitores Diamante Negro, do grupo 1, e o genitor BRS Estilo, do grupo 2, quanto à frequência de alelos favoráveis envolvidos no controle genético de produtividade de grãos. A combinação híbrida Diamante Negro/BRS Estilo se destacou em Coimbra (Experimento III) quanto às estimativas de CEC (Tabela 4).

A ocorrência de interação nas estimativas de CGC com locais e ausência de interação nas estimativas de CEC com locais, sugere maior estabilidade dos efeitos de CEC comparados aos efeitos de CGC nos diferentes locais. Patil and Choopde (1981), avaliando a geração  $F_2$  de um dialelo na cultura do linho, em três diferentes locais, relataram maior interação de CEC com locais comparada à interação de CGC para produtividade. Em face desta observação os autores concluem que os efeitos aditivos são mais estáveis do que os de dominância nos locais avaliados.

As estimativas do coeficiente de correlação de Spearman entre as estimativas de CGC dos genitores do grupo 1 e 2 para produtividade de grãos nas diferentes safras e locais apresentaram baixa magnitude, com variação de -0,4 a 0,5. Estes resultados corroboram a hipótese de que diferentes conjuntos gênicos, envolvidos no controle genético de produtividade de grãos, estão se expressando

em cada safra e em cada local. Assim, para se obter informações confiáveis sobre a escolha de genitores quanto à produtividade de grãos, são requeridas avaliações do dialelo em diferentes safras e locais.

#### **4.3. Efeito de gerações (Experimentos II e III) nas estimativas de parâmetros genéticos quanto à produtividade de grãos**

Pela análise dialélica conjunta de gerações (Experimentos II e III – conduzidos na safra da seca de 2013 em Coimbra observou-se efeito significativo para CEC x Gerações e efeitos não significativos de CGC<sub>1</sub> x Gerações e CGC<sub>2</sub> x Gerações (Tabela 2 – análise conjunta). As estimativas de CGC<sub>1</sub>, CGC<sub>2</sub> e CEC foram significativas tanto na geração F<sub>1</sub> quanto na F<sub>2</sub> (Tabela 2 – análise individual).

Na geração F<sub>1</sub> houve predominância de efeitos de dominância, observada pela maior importância relativa do componente da CEC em relação à CGC (CGC<sub>1</sub> + CGC<sub>2</sub>) enquanto que em F<sub>2</sub> houve ligeira superioridade dos efeitos aditivos com valores de  $\theta$  iguais à 0,21 e 0,63, respectivamente (Tabela 2 – análise individual). Estes resultados indicam redução dos efeitos de dominância com o avanço de geração de endogamia.

O genitor Diamante Negro se destacou em ambas as gerações quanto às estimativas de CGC<sub>1</sub> (Tabelas 3). Quanto às estimativas de CGC<sub>2</sub>, observou-se destaque para os genitores CNFC 1070 e VC16. Quanto às estimativas de CEC (Tabela 4) que apresentaram interação com gerações, a combinação híbrida TB 9401/VC16 destacou-se na geração F<sub>1</sub> com a maior estimativa de CEC, e pelo menos um genitor de alta CGC. Na geração F<sub>2</sub> não houve combinação híbrida que se destacasse quanto à CEC com pelo menos um genitor de alta CGC.

As estimativas de CGC foram consistentes nas gerações  $F_1$  e  $F_2$ , indicando que a utilização da geração  $F_2$  na estimação dos parâmetros do dialelo parcial quanto à produtividade de grãos é vantajosa, pois permite a avaliação em maior número de ambientes. Resultados similares foram relatados com a cultura do trigo na análise dialélica visando produtividade de grãos, utilizando a geração  $F_1$  e gerações avançadas na análise dialélica (Bullar et al., 1972; Masood e Kronstad, 2000).

Já a estimativa de CEC x Geração foi significativa, indicando inconsistência nas estimativas de CEC com o avanço de geração (Tabela 2 – análise conjunta). A estimativa do coeficiente de correlação de Spearman entre as estimativas de CEC nas duas gerações foi de 0,09. Como a CEC é função dos desvios de dominância, que são reduzidos à metade a cada geração de autofecundação estes resultados eram esperados. No entanto, segundo Viana (2007), no dialelo parcial, a magnitude da capacidade geral de combinação, além de informar a frequência de alelos favoráveis, é indicativa da diversidade genética entre o genitor de um grupo e aqueles do grupo oposto. Assim, em gerações avançadas do dialelo parcial a escolha dos genitores pode ser baseada apenas nas estimativas de CGC (Pimentel et al., 2013).

#### **4.4. Efeito de safras (Experimentos I e II) nas estimativas de parâmetros genéticos quanto à arquitetura de plantas na geração $F_1$**

Na safra do inverno de 2012 (Experimento I), apenas a CGC dos genitores do grupo 1 ( $CGC_1$ ) apresentou efeito significativo (Tabela 5 – análise individual). Na safra da seca de 2013 (Experimento II), foi observado efeito significativo de  $CGC_1$  e  $CGC_2$ . Não foi observado efeito de CEC em ambas as safras.

Tabela 5. Resumo das análises dialélicas individuais referentes aos experimentos I, II, III e IV e da análise conjunta de safras (Experimentos I e II), locais (Experimentos III e IV) e gerações (Experimentos II e III) para arquitetura de plantas do feijoeiro.

Análise individual (QM)					
Fonte de variação	GL	Experimento I <sup>a</sup>	Experimento II <sup>b</sup>	Experimento III <sup>c</sup>	Experimento IV <sup>d</sup>
CGC <sub>1</sub>	4	2,52**	2,88**	1,89**	2,36**
CGC <sub>2</sub>	6	0,14 <sup>ns</sup>	0,99**	0,64**	0,71**
CEC	35	0,15 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	0,28*	0,20 <sup>ns</sup>
G <sub>1</sub> vs G <sub>2</sub>	1	0,01 <sup>ns</sup>	0,75*	0,05 <sup>ns</sup>	1,90**
Resíduo	92	0,15	0,19	0,16	0,20
Média G <sub>1</sub>		2,60	2,00	2,40	2,70
Média G <sub>2</sub>		2,70	2,35	2,40	3,20
CV (%)		13,78	18,16	14,68	15,08
$\theta$		1,00	0,96	0,71	0,99

  

Análise conjunta (QM)				
Fonte de variação	GL	Safras <sup>1</sup>	Locais <sup>2</sup>	Gerações <sup>3</sup>
		Experimentos I e II	Experimentos III e IV	Experimentos II e III
CGC <sub>1</sub>	4	5,28**	4,20**	4,15*
CGC <sub>2</sub>	6	0,87**	1,16*	1,57**
CEC	35	0,22 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>
G <sub>1</sub> vs G <sub>2</sub>	1	0,48 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>
Ambiente	1	0,00 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>
CGC <sub>1</sub> x Ambiente <sup>1,2,3</sup>	4	0,13 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,63**
CGC <sub>2</sub> x Ambiente	6	0,26 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>
CEC x Ambiente	35	0,13 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>
(G <sub>1</sub> vs G <sub>2</sub> ) x Ambiente	1	0,28 <sup>ns</sup>	1,28**	0,59 <sup>ns</sup>
Resíduo combinado	18	0,17	0,18	0,17

<sup>a</sup> Avaliação da geração F<sub>1</sub> na safra de inverno de 2012, em Coimbra-MG. <sup>b</sup> Avaliação da geração F<sub>1</sub> na safra da seca de 2013, em Coimbra-MG. <sup>c</sup> Avaliação da geração F<sub>2</sub> na safra da seca de 2013 em Coimbra-MG. <sup>d</sup> Avaliação da geração F<sub>2</sub> na safra da seca de 2013 em Viçosa-MG.

CGC<sub>1</sub>: Capacidade geral de combinação do grupo 1. CGC<sub>2</sub>: Capacidade geral de combinação do grupo 2. CEC: Capacidade específica de combinação.

ns: Não significativo; \* e \*\* Significativo, respectivamente, ao nível de 5 e 1% pelos teste F.

$$\theta = \frac{\varphi_{CGC_1} + \varphi_{CGC_2}}{\varphi_{CGC_1} + \varphi_{CGC_2} + \varphi_{CEC}}$$

Observou-se diferença entre as médias dos dois grupos ( $G_1$  vs  $G_2$ ) apenas na safra da seca de 2013 (Experimento II) (Tabela 5 – análise individual). O grupo 1 apresentou menor média de notas, as quais traduzem plantas de arquitetura mais ereta.

Nas duas safras, inverno de 2012 (Experimento I) e seca de 2013 (Experimento II), a importância relativa ( $\theta$ ) entre os componentes de CGC ( $CGC_1 + CGC_2$ ) e os de CEC foram próximos à unidade (1,00 e 0,96) (Tabela 2 – análise individual). Valor de  $\theta$  igual à unidade indica ausência de dominância para os locos envolvidos no controle do caráter em questão. Assim, os resultados sugerem ação aditiva dos genes que controlam a arquitetura de plantas em feijoeiro. Predominância de efeito aditivo no controle genético deste caráter também foi relatada por Silva et al. (2013) na avaliação de 14 linhagens de feijão de diferentes tipos (carioca, preto e mulatinho) e seus híbridos em dialelo parcial. Outros autores também reportam predominância de efeito aditivo envolvido no controle genético da arquitetura de plantas (Nienhuis and Singh, 1986; Teixeira et al., 1999). Para fins de melhoramento, esses resultados indicam que a abertura de progênes visando a seleção quanto à arquitetura mais ereta de plantas em feijoeiro pode ocorrer em gerações iniciais, tais como  $F_2$  e  $F_3$ .

Pela análise dialélica conjunta de safras (Experimentos I e II), observou-se que os efeitos envolvendo interação ( $CGC_1$  x Safras,  $CGC_2$  x Safras, CEC x Safras e  $G_1$  vs  $G_2$  x Safras) não foram significativos (Tabela 5 – análise conjunta). Estes resultados indicam que não houve efeito diferencial de safras nas estimativas dos parâmetros genéticos do dialelo para arquitetura utilizando a geração  $F_1$ . Assim, as estimativas dos efeitos de CGC de ambos os grupos podem

ser interpretadas com base na avaliação em apenas uma das safras (inverno ou seca), e ou a partir da análise conjunta, quanto à arquitetura de plantas.

Considerando as estimativas de CGC a partir da análise conjunta para safras (Experimentos I e II) (Tabela 6), observa-se que apenas o genitor TB 94-01 (grupo 1) apresentou estimativa negativa e significativa, se destacando quanto à frequência de alelos favoráveis para arquitetura de plantas. Vale lembrar que para arquitetura de plantas, o interesse é nas menores notas, que traduzem plantas de porte mais ereto.

#### **4.5. Efeito de locais (Experimentos III e IV) nas estimativas de parâmetros genéticos quanto à arquitetura de plantas na geração F<sub>2</sub>**

Considerando os efeitos de locais, Coimbra (Experimento III) e Viçosa (Experimento IV) (Tabela 5 – análise individual), observou-se que os efeitos de CGC<sub>1</sub> e CGC<sub>2</sub> de ambos os locais foram significativos, o que indica diferença na frequência de alelos favoráveis entre os genitores dos dois grupos no controle genético da arquitetura. Já a CEC foi significativa apenas em Coimbra.

Observou-se maior importância relativa ( $\theta$ ) do componente da CGC (CGC<sub>1</sub> + CGC<sub>2</sub>) em relação à CEC, indicando predominância de efeito aditivo no controle genético da arquitetura, tanto em Coimbra (Experimento III) quanto Viçosa (Experimento IV), com valores de 0,71 e 0,99, respectivamente (Tabela 2 – análise individual). Cabe ressaltar que valores de  $\theta$  próximos à unidade indicam ausência de dominância no controle da característica em questão.

Pela análise dialélica conjunta de locais (Experimentos III e IV) (Tabela 5 – análise conjunta) observou-se efeitos não significativos para a interação CGC<sub>1</sub> x Locais, CGC<sub>2</sub> x Locais e CEC x Locais.

Tabela 6. Estimativas dos efeitos da CGC<sub>1</sub> e CGC<sub>2</sub> para arquitetura de plantas do feijoeiro

Grupo1	CGC <sub>1</sub>			
	Exp. I <sup>a</sup> e II <sup>b</sup>	Exp. III <sup>c</sup> e IV <sup>d</sup>	Exp. III <sup>c</sup>	Exp. IV <sup>d</sup>
L 20	-0,07	-0,16	0,00	-0,15*
Xamego	-0,09	-0,04	-0,13*	-0,04
TB 94-01	-0,22*	0,01	-0,25**	0,05
BRS Valente	-0,12	-0,23*	-0,12	-0,24**
Diamante Negro	0,49**	0,42**	0,50**	0,38**
Erro padrão ( $\hat{\sigma}_i$ )	0,11	0,11	0,07	0,06
Grupo 2	CGC <sub>2</sub>			
RP 1	-0,04	0,02	0,00	-0,08
BRS Estilo	-0,09	-0,06	-0,16*	-0,12
VC 12	-0,04	-0,09	-0,03	-0,04
VC 20	-0,09	-0,09	-0,11	-0,08
CNFC 10720	0,21	0,25	0,30**	0,27
MAI 1813	0,12	0,13	0,21**	0,16
VC 16	-0,13	-0,17	-0,22*	-0,12
Erro padrão ( $\hat{\sigma}_j$ )	0,13	0,13	0,07	0,07

I<sup>a</sup> Avaliação da geração F<sub>1</sub> na safra de inverno de 2012, em Coimbra-MG.

II<sup>b</sup> Avaliação da geração F<sub>1</sub> na safra da seca de 2013, em Coimbra-MG.

III<sup>c</sup> Avaliação da geração F<sub>2</sub> na safra da seca de 2013 em Coimbra-MG

IV<sup>d</sup> Avaliação da geração F<sub>2</sub> na safra da seca de 2013 em Viçosa-MG.

\* e \*\* Significativo, respectivamente, ao nível de 5 e 1% pelos teste t.

CGC<sub>1</sub>: Capacidade geral de combinação do grupo 1.

CGC<sub>2</sub>: Capacidade geral de combinação do grupo 2.

Genitores e híbridos se comportaram de forma semelhante frente as variações ambientais (locais), assim como observado para as diferentes safras (inverno de 2012 e seca de 2013). Efeitos de interação não significativos sugerem que a escolha dos genitores quanto à arquitetura de plantas pode ser baseada nas estimativas dos efeitos de CGC com base na avaliação em apenas um dos locais. Os efeitos de  $CGC_1$  e  $CGC_2$  foram significativos (Tabela 5 – análise conjunta), indicando diferença na frequência de alelos favoráveis para arquitetura de plantas entre os genitores dos dois grupos.

Quanto às estimativas de CGC, baseadas na análise conjunta (Experimentos III e IV), observou-se que apenas o genitor BRS Valente (grupo 1) apresentou estimativa negativa e significativa, se destacando quanto à frequência de alelos favoráveis para arquitetura de plantas (Tabela 6).

#### **4.6. Efeito de gerações (Experimentos II e III) nas estimativas de parâmetros genéticos quanto à arquitetura de plantas**

Pela análise dialélica conjunta de gerações (Experimentos II e III – avaliados na safra da seca de 2013 em Coimbra, foi observado efeito significativo para a interação  $CGC_1$  x Gerações (Tabela 5 – análise conjunta), o que indica que o efeito de gerações afetou, de forma diferenciada, as estimativas de  $CGC_1$  quanto à arquitetura de plantas.

O coeficiente de correlação de Spearman entre as estimativas de CGC dos genitores do grupo 1 nas gerações  $F_1$  e  $F_2$  foi de baixa magnitude (0,30). Houve alteração na classificação dos genitores do grupo 1 quanto às suas frequências de alelos favoráveis para arquitetura de plantas nestas gerações (Tabela 6). O genitor TB 94-01 apresentou a melhor classificação quanto à estimativa de  $CGC_1$  na

geração  $F_1$ , contudo na geração  $F_2$  obteve a quarta colocação. Já o genitor BRS Valente foi o melhor classificado na geração  $F_2$  enquanto que na geração  $F_1$  foi o terceiro (Tabela 6).

Ressalta-se que a estimativa de CEC foi significativa na geração  $F_2$  e não significativa na geração  $F_1$  (Tabela 5). Associado a este fato observou-se que na geração  $F_1$  a importância relativa ( $\theta$ ) entre os componentes de CGC ( $CGC_1 + CGC_2$ ) e CEC foi próximo à unidade (0,99) enquanto que na geração  $F_2$  foi de 0,71. Estes resultados não são esperados, uma vez que os efeitos de dominância reduzem à metade com a autofecundação e a geração  $F_1$  indica que os genes envolvidos no controle genético de arquitetura exibem ação aditiva.

Segundo Masood e Kronstad (2000), a significância da CEC em gerações avançadas por autofecundação não indica presença de efeitos de dominância. Estes autores sugerem que a presença de efeitos de CEC significativos em gerações mais avançadas de endogamia pode ser indicativa da presença de epistasia aditiva x aditiva no controle genético da característica sob análise. Outros autores relatam que genes ligados envolvidos no controle de uma característica é fator de distorção nas estimativas de parâmetros genéticos obtidas na análise dialélica em gerações segregantes, o que não ocorre quando estas estimativas são obtidas na geração  $F_1$  (Mather e Jinks, 1974; Chung e Stevenson, 1972). Desta forma, as estimativas de parâmetros genéticos para a arquitetura de plantas na análise dialélica a partir da  $F_2$ , obtidas neste trabalho, são viesadas e como não se observou efeitos significativos da interação destes parâmetros do dialelo com locais e safras, recomenda-se obter estas estimativas a partir da análise para arquitetura de plantas do feijão apenas com a geração  $F_1$ .

#### **4.7 Análise dialélica parcial de Viana et al. (1999) adaptado do método de Hayman (1954)**

Para produtividade de grãos, apenas no experimento III os dois testes de suficiência do modelo aditivo-dominante não foram significativos, indicando que este modelo foi suficiente para explicar o controle genético da produtividade de grãos apenas nas condições deste experimento (Tabela 7). Nos demais experimentos, a ocorrência de significância em pelo menos um dos testes do modelo aditivo-dominante evidenciou a não adequação do modelo. Em razão disso, estes experimentos foram excluídos das análises subsequentes.

Quando o modelo aditivo-dominante não é suficiente para explicar o controle genético da característica em análise, isso indica que pelo menos uma das seguintes pressuposições não são atendidas: segregação diploide, genitores homozigóticos, efeito materno, alelismo múltiplo, genes distribuídos independentemente entre os genitores e epistasia. De modo geral, para produtividade de grãos em feijão as três primeiras pressuposições são atendidas.

Já as demais restrições, ausência de alelismo múltiplo, genes distribuídos independentemente entre os genitores e ausência de epistasia, individualmente ou em conjunto, poderiam ser a causa da não suficiência do modelo aditivo-dominante para produtividade de grãos nos três experimentos.

Como neste trabalho, ambos os grupos de genitores do dialelo parcial são compostos por linhagens elites de feijões dos grupos preto e carioca, respectivamente, é provável que não ocorra distribuição independente dos genes envolvidos no controle genético da produtividade de grãos entre os genitores de cada um dos grupos, fazendo com que a pressuposição de distribuição independente de genes não seja atendida.

Tabela 7. Resultado do teste de suficiência do modelo genético aditivo-dominante de  $W_r$  em função de  $V_r$  e  $W_s$  em função de  $V_s$  quanto à produtividade de grãos e arquitetura de planta do feijoeiro

Avaliação		Regressão: $W_i = 1/4 (D - H_i) + bV_i$			
		Produtividade de grãos		Arquitetura de planta	
		t ( $H_0: b_1 = 1$ )	t ( $H_0: b' = 0$ )	t ( $H_0: b_1 = 1$ )	t ( $H_0: b' = 0$ )
Experimento I <sup>a</sup>	G <sub>1</sub>	-3,68*	2,43 <sup>ns</sup>	-1,04 <sup>ns</sup>	-1,26 <sup>ns</sup>
	G <sub>2</sub>	-4,92 <sup>ns</sup>	1,86 <sup>ns</sup>	-0,92 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>
Experimento II <sup>b</sup>	G <sub>1</sub>	-1,42 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	-2,10 <sup>ns</sup>	-0,61 <sup>ns</sup>
	G <sub>2</sub>	-7,60*	2,91*	0,87 <sup>ns</sup>	-1,96 <sup>ns</sup>
Experimento III <sup>c</sup>	G <sub>1</sub>	1,03 <sup>ns</sup>	-1,60 <sup>ns</sup>	-0,75 <sup>ns</sup>	-0,92 <sup>ns</sup>
	G <sub>2</sub>	0,71 <sup>ns</sup>	-1,76 <sup>ns</sup>	-1,15 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>
Experimento IV <sup>d</sup>	G <sub>1</sub>	-10,53*	5,76*	-1,74 <sup>ns</sup>	0,96 <sup>ns</sup>
	G <sub>2</sub>	-4,62*	0,71 <sup>ns</sup>	-0,85 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>

<sup>a</sup> Avaliação da geração F<sub>1</sub> na safra de inverno de 2012, em Coimbra-MG.

<sup>b</sup> Avaliação da geração F<sub>1</sub> na safra da seca de 2013, em Coimbra-MG.

<sup>c</sup> Avaliação da geração F<sub>2</sub> na safra da seca de 2013 em Coimbra-MG.

<sup>d</sup> Avaliação da geração F<sub>2</sub> na safra da seca de 2013 em Viçosa-MG.

.ns: Não significativo; \* e \*\* Significativo, respectivamente, ao nível de 5 e 1% pelos teste F e, ou pelo teste

G<sub>1</sub>: grupo 1 e G<sub>2</sub>: grupo 2

A ocorrência de alelismo múltiplo e epistasia no controle genético da produtividade de grãos em feijoeiro também poderiam ser as causas possíveis para a falha na suficiência do modelo aditivo-dominante, já que se trata de uma característica complexa, controlada por vários genes (Torga et al., 2013).

As estimativas de  $D_{(1)}$  e  $D_{(2)}$  foram significativas, indicando variabilidade em ambos os grupos de genitores quanto à produtividade de grãos no experimento III (Tabela 8). A diferença nas estimativas ( $D_{(1)} - D_{(2)}$ ) foi menor que zero evidenciando maior variabilidade entre os genitores do grupo 2 quanto à produtividade de grãos, ou seja, no grupo de genitores de grãos carioca. Os componentes associados aos efeitos aditivos ( $D_{(1)}$  e  $D_{(2)}$ ) foram predominantes em relação aos componentes associados aos efeitos de dominância ( $H_{1(1)}$ ,  $H_{1(2)}$ ,  $H_2$ ,  $H_2'$ ).

Os componentes  $H_{1(1)}$  e  $H_{1(2)}$  não foram significativos. Esses resultados são discordantes daqueles obtidos pelo modelo de Griffing (1956), em que a estimativa de CEC foi significativa, indicando efeito de dominância no controle genético da produtividade de grãos.

Cabe ressaltar que foi observada heterose positiva para produtividade de grãos nas 35 combinações híbridas, sendo que destas, 19 apresentaram heterobeltiose (Tabela 9).

Tabelas 8- Estimativas de parâmetros genéticos para produtividade de grãos em feijoeiro na avaliação da geração F<sub>2</sub> na safra da seca de 2013 em Coimbra-MG (Experimento III)

Parâmetros	Estimativa	Teste t
D <sub>1</sub> <sup>1/</sup>	86661,3	6,21*
D <sub>2</sub> <sup>1/</sup>	167870,4	12,03*
F <sub>1</sub>	189230,4	2,29*
F <sub>2</sub>	207585,6	2,50*
F <sub>3</sub>	-175670,0	-2,12*
F <sub>4</sub>	242984,6	2,93*
F <sub>5</sub>	201641,6	2,43*
F' <sub>1</sub>	354209,3	4,33*
F' <sub>2</sub>	195066,0	2,39*
F' <sub>3</sub>	230125,1	2,82*
F' <sub>4</sub>	204528,3	2,50*
F' <sub>5</sub>	260093,7	3,18*
F' <sub>6</sub>	-80315,0	-0,98
F' <sub>7</sub>	-92929,6	-1,14
H <sub>1(1)</sub> <sup>2/</sup>	21527,2	0,10
H <sub>1(2)</sub> <sup>2/</sup>	-22077,4	-0,10
H <sub>2 1</sub>	-49066,2	-0,22
H <sub>2 2</sub>	-100524,0	-0,46
H <sub>2 3</sub>	78728,73	0,36
H <sub>2 4</sub>	-19966,5	-0,09
H <sub>2 5</sub>	-29556,5	-0,13
H <sub>2 1</sub>	-118337,9	-0,53
H <sub>2 2</sub>	-7980,9	-0,06
H <sub>2 3</sub>	-100687,0	-0,45
H <sub>2 4</sub>	-41151,0	-0,18
H <sub>2 5</sub>	-1634,8	-0,01
H <sub>2 6</sub>	49626,0	0,22
H <sub>2 7</sub>	39588,6	0,18
h <sup>2/2</sup>	1871757,8	11,78*
ε	21442,4	2,17*
F Médio	133154,5	2,02*
F' Médio	152968,3	11,78*
H <sup>2</sup> Médio	-25080,0	2,17*

<sup>1/</sup> Componentes associados aos efeitos aditivos. <sup>2/</sup> Componentes associados aos efeitos de dominância. \*significativo conforme Singh e Chaudhary (1979)

Tabela 9- Média de produtividade de grãos de genitores (extremidades) e de híbridos e valores de heterose (entre parênteses) na avaliação da geração F<sub>2</sub> na safra da seca de 2013 em Coimbra-MG (Experimento III).

Genitores	RP 1	BRS Estilo	VC 12	VC 20	CNFC 10720	MAI 1813	VC 16	Média de G <sub>1</sub>
L 20	3873,2 (16, 48%)	4068,3 (15, 63%)	4294,3 (19, 33%)	3731,7 (15, 47%)	4051,2 (5, 22%)	3947,1 (7, 60%)	4256,9 (14, 81%)	3567,5
Xamego	3664,2 (9, 83%)	3934,1 (11, 47%)	4048,8 (12, 16%)	3701,6 (14, 15%)	4105,7 (6, 33%)	3751,2 (1, 96%)	4013,0 (7, 91%)	3589,4
TB 94-01	3620,3 (3, 84%)	3842,3 (4, 42%)	4117,1 (9, 49%)	3779,7 (11, 39%)	4357,7 (8, 62%)	4104,1 (7, 17%)	4318,7 (11, 62%)	3890,2
BRS Valente	3736,5 (16, 87%)	4036,6 (19, 06%)	3872,4 (11, 57%)	3705,7 (19, 40%)	4207,3 (13, 03%)	3678,8 (3, 91%)	3752,9 (4, 84%)	3311,4
Diamante Negro	3719,5 (2, 65%)	4241,5 (11, 13%)	3994,3 (2, 49%)	3926,0 (11, 22%)	4152,9 (0, 10%)	4157,7 (4, 82%)	4233,3 (5, 67%)	4164,2
Média de G <sub>2</sub>	3082,9	3469,1	3630,1	2895,9	4133,3	3769,1	3848,0	

G<sub>1</sub>: Genitores do grupo 1; G<sub>2</sub>: Genitores do grupo 2

Esses resultados confirmam a presença de dominância e ou de sobredominância no controle genético da produtividade de grãos, indicando que o resultado obtido pelo modelo de Griffing é mais coerente. Essas contradições podem sinalizar um problema no teste de suficiência do modelo aditivo-dominante quanto à característica avaliada. Segundo Cruz et al. (2012), a validade das pressuposições do teste de suficiência do modelo aditivo-dominante pode ser obtida em certos casos nos quais o fracasso em uma pressuposição é compensado pelo fracasso em outra. Como o modelo aditivo-dominante foi suficiente apenas para os dados de um dos quatro experimentos, é provável que haja um viés no teste de suficiência deste modelo para a produtividade de grãos. Assim, os parâmetros genéticos obtidos pela metodologia de Hayman também apresentam viés em suas estimativas, o que compromete suas interpretações.

Para arquitetura de plantas, os dois testes de suficiência do modelo aditivo-dominante não foram significativos nos quatro experimentos (Tabela 7), indicando que este modelo foi suficiente para explicar o controle genético desta característica. As estimativas de  $D_{(1)}$  foram significativas para os quatro experimentos e de  $D_{(2)}$  foram nos experimentos II e IV e não significativas em I e III (Tabela 10), indicando variabilidade quanto à arquitetura de plantas apenas para os genitores do grupo 1 em todos os experimentos e para o grupo II nos experimentos II e IV.

Os componentes associados aos efeitos aditivos ( $D_{(1)}$  e  $D_{(2)}$ ) foram predominantes em relação aos componentes associados aos efeitos de dominância ( $H_{1(1)}$ ,  $H_{1(2)}$ ,  $H_2$ ,  $H_2'$ ) em ambas as gerações. Esses resultados indicam que a fração aditiva é a principal responsável pelo controle genético da arquitetura de plantas.

Tabela 10- Estimativas de parâmetros genéticos para arquitetura de planta do feijoeiro.

Parâmetros	Exp. I		Exp. II		Exp. III		Exp. IV	
	Est	t	Est	t	Est	t	Est	t
D <sub>1</sub> <sup>1/</sup>	0,14	5,67*	0,38	7,89*	0,12	2,55*	0,16	4,39*
D <sub>2</sub> <sup>1/</sup>	0,02	0,78	0,12	2,42*	0,07	1,39	0,11	3,09*
F <sub>1</sub>	0,09	1,29	-0,01	-0,11	0,34	1,19	-0,64	-2,94*
F <sub>2</sub>	0,04	0,59	0,02	0,11	0,21	0,74	0,31	1,43
F <sub>3</sub>	0,07	-0,97	0,06	0,44	-0,24	-0,84	0,44	2,02*
F <sub>4</sub>	-0,01	-0,21	-0,04	0,29	-0,42	-1,48	0,34	1,58
F <sub>5</sub>	0,05	0,64 <sup>3</sup>	-0,10	-0,69	-0,03	-0,11	0,62	2,84*
F <sub>1</sub> <sup>2/</sup>	-0,27	-3,71*	0,11	0,79	0,66	2,34*	0,40	1,88
F <sub>2</sub> <sup>2/</sup>	-0,24	-3,40*	-0,26	-1,85	0,32	1,15	0,30	1,41
F <sub>3</sub> <sup>2/</sup>	-0,28	-3,94*	0,11	0,75	0,29	1,05	-0,79	-3,70*
F <sub>4</sub> <sup>2/</sup>	-0,32	-4,48*	0,36	2,55*	-0,72	-2,57*	-1,15	-5,36*
F <sub>5</sub> <sup>2/</sup>	-0,19	-2,63*	-0,31	-2,18*	-0,20	-0,71	0,03	0,12
F <sub>6</sub> <sup>2/</sup>	-0,24	-3,40*	0,38	2,65*	0,52	1,84	-1,01	-4,71*
F <sub>7</sub> <sup>2/</sup>	0,06	0,92	0,21	1,48	-0,94	-3,36*	-0,84	-3,94*
H <sub>1(1)</sub> <sup>2/</sup>	-0,04	-0,40	-0,04	-0,20	0,91	1,22	-0,38	0,66
H <sub>1(2)</sub> <sup>2/</sup>	-0,05	0,10	-0,06	-0,2	0,03	0,04	0,28	0,48
H <sub>2 1</sub>	-0,08	-0,87	-0,05	-0,25	-0,06	-0,08	0,20	0,35
H <sub>2 2</sub>	-0,09	-0,93	-0,07	0,35	-0,07	-0,09	-0,26	-0,45
H <sub>2 3</sub>	-0,08	-0,86	-0,07	0,35	0,10	0,13	0,07	0,12
H <sub>2 4</sub>	-0,03	-0,30	0,03	0,14	0,43	0,57	0,08	0,14
H <sub>2 5</sub>	-0,05	-0,52	-0,01	-0,06	-0,03	-0,04	-0,11	-0,19
H <sub>2'1</sub>	-0,05	-0,47	-0,02	-0,12	0,21	0,28	0,19	0,33
H <sub>2'2</sub>	-0,04	-0,43	-0,01	-0,05	0,05	0,07	-0,07	-0,13
H <sub>2'3</sub>	-0,10	-1,02	-0,06	-0,30	0,06	0,08	-0,07	-0,12
H <sub>2'4</sub>	-0,06	-0,66	-0,02	-0,11	0,11	0,15	0,07	0,13
H <sub>2'5</sub>	-0,11	-1,12	-0,00	-0,01	0,31	-0,41	0,09	0,15
H <sub>2'6</sub>	-0,09	-0,91	-0,10	-0,50	-0,05	-0,06	-0,10	-0,18
H <sub>2'7</sub>	-0,05	-0,55	-0,04	-0,19	0,48	0,63	-0,14	-0,24
h <sup>2/2</sup>	0,14	2,13*	0,26	1,89	1,46	2,68*	0,10	0,23
E	0,05	2,86	0,06	1,83	0,05	1,55	0,06	2,57*
F Médio	0,05	0,82	-0,16	-0,14	-0,03	-0,12	0,21	1,24
F' Médio	-0,21	-3,80*	0,08	0,77	-0,01	-0,05	-0,44	-2,63*
H <sup>2</sup> Médio	-0,07	-1,09	-0,03	-0,27	0,08	0,15	-0,00	-0,01

<sup>1/</sup> Componentes associados aos efeitos aditivos. <sup>2/</sup> Componentes associados aos efeitos de dominância. \*significativo conforme Singh e Chaudhary (1979)

<sup>a</sup> Avaliação da geração F<sub>1</sub> na safra de inverno de 2012, em Coimbra-MG.

<sup>b</sup> Avaliação da geração F<sub>1</sub> na safra da seca de 2013, em Coimbra-MG.

<sup>c</sup> Avaliação da geração F<sub>2</sub> na safra da seca de 2013 em Coimbra-MG.

<sup>d</sup> Avaliação da geração F<sub>2</sub> na safra da seca de 2013 em Viçosa-MG

A diferença nas estimativas ( $D_{(1)} - D_{(2)}$ ) foi maior que zero em todos os experimentos, evidenciando maior variabilidade entre os genitores do grupo 1 quanto à arquitetura de plantas. Esse grupo é composto por linhagens de grãos pretos, que se destacam por apresentarem arquitetura de plantas mais ereta.

Os componentes  $H_{1(1)}$  e  $H_{1(2)}$  não foram significativos e próximos de zero, indicando ausência de dominância no controle genético da arquitetura de plantas nos dois experimentos. As estimativas dos componentes  $H_2$ ,  $H_2'$  e  $H_2$  médio não foram significativas o que corrobora com a hipótese de ausência de dominância no controle genético de arquitetura de plantas do feijão. Estes resultados corroboram os obtidos pela análise de Griffing.

As estimativas de F dos genitores de um grupo permitem ordená-los quanto ao número de genes dominantes que não estão fixados nas linhagens do outro grupo. Entretanto, na ausência de dominância, esse componente não é uma estatística confiável em estabelecer a ordem dos genitores quanto ao número de genes dominantes que possui (Viana et al., 1999). Esse fato pode ser observado quando se compara as estimativas de F em cada safra (Experimento I e Experimento II) e em cada local (Experimento III e IV). Embora a análise dialélica conjunta (modelo de Griffing) tenha indicado ausência de interação entre as safras (Experimento I e Experimento II) e entre os locais (Experimento III e IV), a classificação dos genitores quanto à estimativa de F são discordantes. A mesma observação é válida quando se trata do valor médio de F, para ambos os grupos. Esses resultados indicam que no dialelo, as estimativas de parâmetros genéticos do dialelo pela metodologia de Hayman (1954) são eficientes apenas quando a característica exibe dominância em seu controle genético, bem como variabilidade dentro dos grupos.

Ainda cabe ressaltar que quando não há variabilidade genética em pelo menos um dos dois grupos de genitores do dialelo parcial, não há relação entre covariância e variância nos arranjos, pois  $V(F_r)$  ou  $V(F_s)$  é igual à zero (Viana, 1999), o que inviabiliza a obtenção de informações genéticas confiáveis a partir da análise dialélica parcial. Em feijoeiro, em geral, a formação dos grupos de genitores no dialelo parcial é estabelecida por complementariedade de caracteres, ou seja, os genitores estão dispostos em grupos pertencentes cada um à um conjunto comum em relação à fenótipos desejáveis de caracteres de interesse. Isso resulta em menor variabilidade dentro dos grupos, implicando em dificuldades na análise dialélica pelo método de Hayman. Entretanto, a análise dialélica parcial pelo modelo de Hayman foi útil em indicar ausência de epistasia no controle genético da arquitetura de plantas.

A arquitetura de plantas é uma característica complexa, que depende de outros caracteres tais como hábito de crescimento, diâmetro do hipocótilo, altura de inserção da primeira vagem, altura da planta e ângulo de inserção da primeira vagem (Santos e Vencovsky, 1986; Oliveira et al., 2015). Alguns trabalhos realizados com o objetivo de identificar caracteres que mais se correlacionavam com a arquitetura de plantas indicaram que o diâmetro do hipocótilo e a altura de plantas foram os principais determinantes da nota de arquitetura de plantas do feijoeiro (Moura et al., 2013; Silva et al., 2013). Rocha (2012) avaliou 48 populações segregantes nas gerações  $F_2$ ,  $F_3$  e  $F_4$ , juntamente com 14 genitores, com o objetivo de determinar as causas das associações entre os caracteres relacionados à arquitetura de plantas de feijão. O autor concluiu que as correlações de elevada magnitude entre os caracteres diâmetro do hipocótilo, altura de plantas e arquitetura de plantas, tanto nas linhagens como nas populações nas diferentes gerações de endogamia são devidas à genes pleiotrópicos de efeitos aditivos ou a genes ligados.

As informações relatadas nos trabalhos citados anteriormente, associadas aos resultados obtidos no presente estudo pela análise de Griffing (1956) sugerem que no controle genético da arquitetura de plantas do feijoeiro estão envolvidos um conjunto de genes de ação aditiva, com alguns deles localizados próximos em um mesmo cromossomo. Isto foi ratificado pela análise de Hayman (1954), uma vez que a suficiência do modelo aditivo-dominante descarta a ocorrência de efeitos epistáticos envolvidos no controle genético da arquitetura de plantas. Desta forma, o principal fator de alteração da média aditiva da geração  $F_1$  para  $F_2$  é a ocorrência de genes ligados envolvidos no controle da arquitetura de plantas, reduzindo assim a frequência das classes recombinantes. Por exemplo, se dois locos gênicos estão envolvidos no controle de uma característica e forem ligados a 1 cM (centi Morgan) as classes oriundas apenas de gametas recombinantes em  $F_2$  somam apenas 1%. Os resultados obtidos com este trabalho indicam que para a geração  $F_2$  o tamanho da parcela (240 plantas) para a avaliação da arquitetura de plantas foi insuficiente. A análise de Hayman (1954), associada à de Griffing (1956), permitiu concluir que no controle genético da arquitetura de plantas do feijão estão envolvidos um conjunto de genes de ação aditiva, sem efeitos epistáticos e com alguns deles localizados próximos em um mesmo cromossomo. Entretanto, para arquitetura de plantas não se observou interação das estimativas dos parâmetros do dialelo com safras e locais, indicando que neste caso a avaliação do dialelo apenas na geração  $F_1$  é suficiente.

As populações BRS Valente/BRS Estilo, L 20/BRS Estilo, TB 9401/VC 16, Diamante Negro/BRS Estilo se destacaram quanto ao potencial para extração de linhagens de feijão preto superiores quanto à produtividade de grãos em cada um dos experimentos. Estas populações apresentam elevadas estimativas de CEC, com pelo menos um genitor de elevada CGC quanto à esta característica. Essas populações

envolvem os genitores TB 94-01 e VC 16 que também se destacaram quanto à frequência de alelos favoráveis quanto à arquitetura de plantas. Assim, o intercruzamento entre essas quatro populações é estratégia promissora visando obtenção de linhagens de feijão preto de alto potencial de produção e plantas de arquitetura ereta, considerados simultaneamente.

## 5. CONCLUSÕES

- Para produtividade de grãos as estimativas de parâmetros genéticos da análise dialélica parcial são afetadas pelos efeitos de safras e locais, enquanto para arquitetura de planta estas estimativas são afetadas apenas pelos efeitos de gerações.
- No controle genético da arquitetura de plantas de feijão estão envolvidos um conjunto de genes de ação aditiva, sem efeitos epistáticos e com alguns deles localizados próximos em um mesmo cromossomo.
- Para arquitetura de planta a obtenção de estimativas dos parâmetros genéticos da análise dialélica parcial em feijoeiro deve ser realizada com base na geração  $F_1$ , enquanto que para produtividade de grãos pode se basear tanto em  $F_1$  quanto em  $F_2$ .
- As combinações híbridas BRS Valente/BRS Estilo, L 20/BRS Estilo, TB 9401/VC 16, Diamante Negro/ BRS Estilo se destacam quanto às estimativas da capacidade específica de combinação quanto à produtividade de grãos.
- Os genitores TB 94-01 e VC 16 se destacaram quanto à capacidade geral de combinação quanto à arquitetura de planta.
- A obtenção de populações de cruzamentos duplos envolvendo as combinações híbridas BRS Valente/BRS Estilo, L 20/BRS Estilo, TB 9401/VC 16, Diamante Negro/BRS Estilo é estratégia promissora para obtenção de linhagens de feijão preto superiores quanto à produtividade de grãos e arquitetura de plantas, considerados simultaneamente.

## 6. REFERÊNCIAS

- Amiri-Oghan, H.; Fotokian, M.H.; Javidfar, F.; Alizadeh, B. 2009. Genetic analysis of grain yield, days to flowering and maturity in oilseed rape (*Brassica napus* L.) using diallel crosses. **International Journal of Plant Production** 3: 19-26
- Araújo, G.A.A.; Ferreira, A.C.B. 2015. Preparo do Solo e Plantio. p. 115-144. In: Carneiro J.E.S; Paula JR., T.J.; Borém, A., eds. **Feijão do plantio à colheita**. Editora UFV, Viçosa, MG, Brasil.
- Baker, R.J.1978. Issues in diallel analysis. **Crop Science** 18: 533-536.
- Barili, L.D.; Vale, N.M.; Prado, A.L.; Carneiro, J.E.S.; Nascimento, M. 2015. 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** 15: 244-250.
- Blair, M.W. 2013. Mineral Biofortification Strategies for Food Staples: The Example of Common Bean. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 61: 8287–8294.
- Borém, A.; Carneiro, J.E.S. 2015. A Cultura. p. 9-15. In: Carneiro, J.E.S.; Paula JR., T.J.; Borém, A. **Feijão: do plantio à colheita**. Editora UFV, Viçosa, MG, Brasil.
- Bhullar, G.S.; Gill, K.S.; Khehra, A.S. 1979. Combining ability analysis over F<sub>1</sub>-F<sub>5</sub> generations in diallel crosses of bread wheat. **Theoretical and Applied Genetics** 55: 77-80.
- Carneiro, J.E.S.; Ramalho, M.A.P.; Abreu, A.F.B.; Gonçalves, F.M.A. 2002. Breeding potential of single, double and multiple crosses in common bean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology** 22: 515-524.
- Cho, Y.; Scott, R.A. 2000. Combining ability of seed vigor and seed yield in soybean. **Euphytica** 112: 145–150.

Chung, H.; Stevenson, E. 1972. Diallel analysis of the genetic variation some quantitative traits in dry beans. **New Zealand Journal of Agricultural Research** 16: 223-231.

Comstock, R.E.; Robinson, H.F. 1952. Estimation of average dominance of genes. p.494-516. In: Gowen, J.W. ed. **Heterosis** . Iowa State College Press, Ames, IA, USA.

Conab – Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em:  
<http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 13 de julho de 2016.

Cruz, C.D.; Regazzi, A.J.; Carneiro, P.C.S. 2012. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Editora UFV, Viçosa, MG, Brasil.

Cruz, C.D., 2013. Genes-software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy** 35: 271-276.

Faria, L.C.; Melo, P.G.S.; Pereira, H.S.; Del Peloso, M.J.; Brás, A.J.B.; Moreira, J.A.A.; Carvalho, H.W.L.; Melo, L.C. 2013. Genetic progress during 22 years of improvement of carioca-type common bean in Brazil. **Field Crops Research** 142: 68–74.

Faria, L.C.; Melo, P.G.S.; Pereira, H.S.; Wendland, A.; Borges, S.F.; Pereira Filho, I.A.P.; Diaz, J.L.C.; Calgare, M.; Melo, L.C. 2014. Genetic progress during 22 years of black bean improvement. **Euphytica** 199: 261–272.

Gardner, C.O.; Eberhart, S.A. 1966. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. **Biometrics** 22: 439-452.

Geraldi, I.O.; Miranda-Filho, J.B. 1988. Adapted models for the analysis of combining ability of varieties in partial diallel crosses. **Revista Brasileira de Genética** 11: 419-430.

Gowda, M.; Longin, C.F.H.; Lein, V.; Reif, J.C. 2012. Relevance of specific versus general combining ability in winter wheat. **Crop Science** 52: 2494-2500.

Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences** 9: 463-493.

Hayman, B.I. 1954. The theory and analysis of diallel crosses. **Genetics** 39: 789-809.

Khan, A. 2016. Performance of different bread wheat varieties for yield and yield attributes under diallel combinations. **Annals of Agrarian Sciences** 14: 2-23.

Kelly, J.D.; Adams, M.W. 1987. Phenotypic recurrent selection in ideotype breeding of plant beans. **Euphytica** 36: 69-80.

Kurek, A.J.; Carvalho, F.I.F.; Assmann, I.C.; Cruz, P.J. 2001. Capacidade combinatória como critério de eficiência na seleção de genitores em feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 36: 645-651.

Maziero, S.M.; Ribeiro, N.D.; Storck, L. 2015. Simultaneous selection in beans for architecture, grain yield and minerals concentration. **Euphytica** 205: 369-380.

Masood, M.S.; Kronstad, W.E. 2000. Combining ability analysis over various generations in a diallel cross of bread wheat. **Pakistan Journal of Agricultural Research** 16: 1-4.

Mapa. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br>. Acesso em: 17 de abril de 2016.

Mather, K.; Jinks, J. L. 1974. **Biometrical Genetics**. Cornell University Pres. Ithaca, NY, USA.

Miklas P.N.; Kelly, J.D.; Beebe, S.D.; Blair MW. 2006. Common bean breeding for resistance against biotic and abiotic stresses: From classical to MAS breeding. **Euphytica** 147: 105-131.

Miranda Filho, J.B.; Geraldi, I.O. 1984. An adapted model for the analysis of partial diallel crosses. **Revista Brasileira de Genética** 7: 677-688.

Moreto, A.; Ramalho, M.A.P.; Nunes, J.A.R.; Abreu, A.F.B. 2007. Estimação dos componentes da variância fenotípica em feijoeiro utilizando o método genealógico. **Ciência e Agrotecnologia** 31: 1035-1042.

Moura, M. M.; Carneiro, P. C. S.; Carneiro, J. E. S.; Cruz, C. D. 2013. Potencial de caracteres na avaliação da arquitetura de plantas de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 48: 417-425.

Nienhuis, J.; Singh, S.P. 1988 Genetics of seed yield and its components in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) of Middle-American origin. I. General combining ability. **Plant Breeding** 10: 143-154.

Oliveira, G.V.; Souza, P.C.S.; Souza, J.E.S.; Cruz, C.D. 2006. Adaptabilidade e Estabilidade de linhagens de feijão comum em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 41: 257-265.

Oliveira, A.M.C., Batista, R.O., Carneiro, P.C.S., Carneiro, J.E.S., Cruz, C.D. 2015. Potential of hypocotyl diameter in family selection aiming at plant architecture improvement of common bean. **Genetics and Molecular Research** 14: 11515-11523.

Patil, V.D.; Chopde, P.R. 1981. Combining ability analysis over environments in diallel crosses of linseed (*Linum usitatissimum* L.). **Theoretical and Applied Genetics** 60: 339-43.

Pereira, H.S., Melo, L.C., Faria, L.C., Del Peloso, M.J., Díaz, J.L.C., Wendlad, A. 2010. Indicação de cultivares de feijoeiro-comum baseada na avaliação conjunta de diferentes épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 45: 571-578.

Pereira, H.S., Melo, L.C., Faria, L.C.; Wendland, A.; Del Peloso, M.J.; Costa, J.G.C.; Nascente, A.S.; Díaz, J.L.C.; Carvalho, H.W.L.; Almeida, V.M.; Melo, C.L.P.; Costa, A.F.; Posse, S.C.P.; Magaldi, M.C.S.; Abreu, A.F.B.; Guimarães, C.M.; Oliveira, J.P.; Moreira, J.A.A.; Martins, M.; Souza Filho, B.F. 2013. BRS Esteio - Common bean cultivar with black grain, high yield potential and moderate resistance to anthracnose. **Crop Breeding and Applied Biotechnology** 13: 373-376.

Pereira, L. A.; Abreu, A. F. B.; Vieira Junior, I. C.; Pires, L. P. M.; Ramalho, M.A.P. 2017. Genetic progress estimation strategy for upright common bean plants using recurrent selection. **Genetics and Molecular Research** 16: 1-9.

Petry, N.; Boy, E; Wirth, J.P.; Hurrell, R.F. 2015. The potential of Common Bean (*Phaseolus vulgaris*) as a Vehicle for Iron Biofortification. **Nutrients** 7: 1144-1173.

Pimentel, A.J.B., Ribeiro, G.; Souza, M.A., Moura, L.M.; Assis, J.C.; Machado, J.C. 2013. Comparação de métodos de seleção de genitores e populações segregantes aplicados ao melhoramento de trigo. **Bragantia** 72: 113-121.

Pires, L.P.M.; M.A.P, Ramalho.; Abreu, A.F.B.; Ferreira, M.C. 2014. Recurrent mass selection for upright plant architecture in common bean. **Scientia Agricola** 71: 240-243.

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

Ramalho, M.A.P.; Santos, J.B.; Zimmermann, M.J.O. 1993. **Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro**. Editora UFG, Goiânia, GO, Brasil.

Ramalho, M.A.P.; Pirola, L.H.; Abreu, A.F.B. 1998. Alternativas na seleção de plantas de feijoeiro com porte ereto e grão tipo carioca. **Crop Breeding and Applied Biotechnology** 33: 1989-1994.

Ramalho, M.A.P.; Abreu, A.F.B. 2015. Obtenção de Cultivares. p. 96-114. In: Carneiro, J.E.S.; Paula Jr., T.J.; Borém, A., eds. **Feijão**. Editora UFV, Viçosa, MG, Brasil.

Ribeiro, G.; Silveira, G. da; Crestani, M.; Nornberg,R.; Luche, S.H.; Mezzalira, I.; Carvalho, F.I.F.; Oliveira, A.C. 2011. Diallel analysis in white oat cultivars subjected to water stress. **Crop Breeding and Applied Biotechnology** 11: 125-132.

Rocha, G.S. **Causas de correlação entre caracteres e efeito de ambientes na predição do potencial de populações segregantes no melhoramento do feijoeiro**. 2012. 68p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

Santos, J.B.; Gavilanes, M.L.; Vieira, R.F.; Pinheiro, L.R. 2015. Botânica. p. 36-66. In: Carneiro, J.E.S.; Paula JR., T. J.; Borém, A., eds.. **Feijão do plantio à colheita**. Editora UFV, Viçosa, MG, Brasil.

Santos, J. B; Vencovsky, R. 1986. Controle genético de alguns componentes do porte da planta em feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 21: 957-963.

Silva, V.M.P., Carneiro, P.C.S., Menezes Júnior, J.A.N., Carneiro, V.Q., Carneiro, J.E.S., Cruz, C.D., Borem, A., 2013. Genetic potential of common bean parents for plant architecture improvement. **Scientia Agricola** 70: 167-175.

Silva, J.G.; Wander A. E. 2015. Colheita do Feijão. p. 327-355. In: Carneiro, J.E.S.; Paula Jr., T. P.; Borém, A., eds. **Feijão do plantio à colheita**. Editora UFV, Viçosa, MG, Brasil.

Singh, R.K.; Chaudhary, B.D. 1979. **Biometrical methods in quantitative genetic analysis**. Kalyane, New Delhy, Índia.

Teixeira, F.F., Ramalho, M.A.P., Abreu, A.F.B. 1999. Genetic control of plant architecture in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Genetics and Molecular Biology** 22: 577-582.

Torga, P.P.; Melo, P.G.S.; Pereira, H.S.; Faria, L.C.; Del Peloso, M.J.; Melo, L.C. 2013. Interaction of common beans cultivars of the black group with years, locations and sowing seasons. **Euphytica** 189: 239-248.

Torres, E.A.; Geraldi, I.O. 2007. Partial diallel analysis of agronomic characters in rice (*Oryza sativa* L.). **Genetics and Molecular Biology** 30: 605-613.

Vale, N.M.; Barili, L.D.; Souza, M.H.; Moura, L.M.; Carneiro J.E.S.; Carneiro, P.C.S.; Silva, F.L. 2015. Effect of generations and environments in the analysis of a partial diallel to improve bean earliness. **Genetics and Molecular Research** 14: 8219-8228.

Viana, J.M.S. 2007. Heterosis and combining ability analyses from the partial diallel. **Bragantia** 66: 641-647.

Viana, J.M.S.; Cruz, C.D.; Cardoso, A.A.; Regazzi, A.J. 2000. Analysis of variance of partial diallel tables. **Genetics and Molecular Biology** 23: 229-234.

Viana, J.M.S.; Cruz, C.D.; Cardoso, A.A. 1999. Theory and analysis of partial diallel crosses. **Genetics and Molecular Biology** 22: 591-599.

Vieira, C.; Borém, A.; Ramalho, M.A.P.; Carneiro, J.E.S. 2005. Melhoramento do Feijão. p. 301-392. In: Borém, A., ed. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Editora UFV, Viçosa, MG, Brasil.