

**VANESSA MARIA PEREIRA E SILVA**

**MELHORAMENTO GENÉTICO DO PORTE DO FEIJOEIRO**

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

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2011

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

T

S586m  
2011

Silva, Vanessa Maria Pereira e, 1982-  
Melhoramento genético do porte do feijoeiro / Vanessa  
Maria Pereira e Silva. – Viçosa, MG, 2011.  
xi, 60f. : il. ; 29cm.

Orientador : Pedro Crescêncio Souza Carneiro.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. *Phaseolus vulgaris*. 2. Feijão - Melhoramento genético.  
3. Genética quantitativa. I. Universidade Federal de Viçosa.  
II. Título.

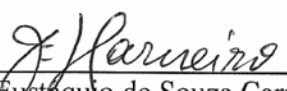
CDD 22. ed. 635.6522

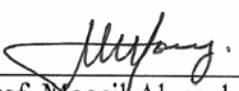
**VANESSA MARIA PEREIRA E SILVA**

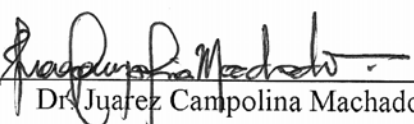
**MELHORAMENTO GENÉTICO DO PORTE DO FELJOEIRO**

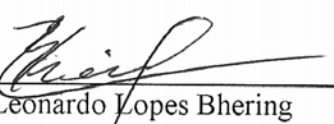
Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

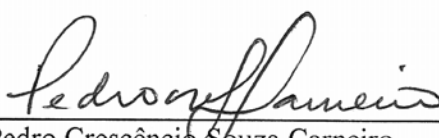
APROVADA: 04 de janeiro de 2011.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. José Eustáquio de Souza Carneiro  
(Co-orientador)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Moacil Alves de Souza

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Juarez Campolina Machado

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Leonardo Lopes Bhering

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Pedro Crescêncio Souza Carneiro  
(Orientador)

*A Deus,  
luz da minha vida.*

## **OFEREÇO**

*Aos meus pais, Zélio e Petronilha, pelo amor, educação, confiança, cuidado e por estarem sempre presentes em todas as etapas da minha vida, a minha irmã, Talise, pelo carinho, amizade e alegria e ao José Ângelo pelo amor, incentivo e presença constante.*

## **DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pelo dom da vida, por estar sempre iluminando meu caminho e dando-me perseverança e força para vencer todos os obstáculos e tornar possível mais este sonho.

Aos meus pais, Zélio e Petronilha, e a minha querida irmã, Talise, pelo incentivo, amor, carinho e dedicação.

Ao José Ângelo por todo amor, companheirismo, compreensão, carinho, paciência e apoio.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, pela oportunidade concedida.

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

Ao CNPq, a CAPES e à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (Fapemig) pelo apoio financeiro durante a realização deste trabalho.

Ao Professor Pedro Crescêncio Souza Carneiro, pela excelente orientação, ensinamentos transmitidos, paciência, inteligência, disponibilidade, amizade e dedicação.

Ao Professor José Eustáquio de Souza Carneiro, pela co-orientação, pelos ensinamentos, pela disponibilidade, amizade e apoio na condução dos experimentos.

Aos membros da banca, Professor Moacil Alves de Souza, Professor Leonardo Lopes Bhering e Dr. Juarez Campolina Machado, pela disponibilidade e sugestões para o enriquecimento deste trabalho.

Ao Professor Cosme Damião Cruz, pela co-orientação e ensinamentos transmitidos e aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento pelos ensinamentos e contribuição em minha formação.

As minhas avós, em especial a vó Delba, pelas orações e amor, sendo para mim uma segunda mãe.

As amigas de república Ana Paula, Josi, Mel, Neidi e Fernanda pela ótima convivência, momentos de descontração e boas risadas.

Aos amigos do Programa Feijão, pela indispensável colaboração na condução dos experimentos, pela descontração e pelos momentos que passamos juntos.

Ao Sr. José Pinto Rosa (Pintinho), pelo auxílio na realização dos cruzamentos em casa de vegetação.

A todos os funcionários da Agronomia e da estação experimental de Coimbra, em especial ao Gilberto, pela ajuda na condução dos experimentos.

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

A todos aqueles que fazem parte da minha vida, e de alguma forma, contribuíram para realização deste trabalho.

**MUITO OBRIGADA!**

## **BIOGRAFIA**

VANESSA MARIA PEREIRA E SILVA, filha de Zélio Osvaldo da Silva e Petronilha Rosângela Pereira Silva, nasceu em 13 de julho de 1982, em Perdões, estado de Minas Gerais.

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

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

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

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1. Morfologia e arquitetura da planta de feijão.....	3
2.2. Controle genético dos caracteres associados à arquitetura da planta.....	7
2.3. Escolha de genitores .....	11
2.4. Cruzamentos dialélicos.....	13
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	19
CAPÍTULO 1: Heterose e capacidade de combinação de linhagens de feijão visando a seleção de plantas de porte ereto.....	24
1. Resumo.....	25
2. Abstract.....	25
3. Introdução.....	26
4. Material e métodos.....	28
5. Resultados e discussão.....	30
5.1. Correlações entre os caracteres relacionados à arquitetura da planta.....	30
5.2. Capacidade geral e específica de combinação.....	30
5.3. Decomposição do efeito da heterose.....	36
6. Referências Bibliográficas.....	40
CAPÍTULO 2: Efeitos gênicos envolvidos no controle genético da arquitetura de planta do feijoeiro.....	43
1. Resumo.....	44
2. Abstract.....	44

3. Introdução.....	45
4. Material e métodos.....	46
5. Resultados e discussão.....	49
5.1. Teste de suficiência do modelo aditivo-dominante.....	49
5.2. Parâmetros genéticos.....	52
6. Referências Bibliográficas.....	57
4. CONCLUSÕES GERAIS.....	60

## RESUMO

SILVA, Vanessa Maria Pereira e, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, janeiro de 2011. **Melhoramento genético do porte do feijoeiro**. Orientador: Pedro Crescêncio Souza Carneiro. Co-orientadores: José Eustáquio de Souza Carneiro e Cosme Damião Cruz.

Este trabalho foi realizado com os objetivos de obter informações sobre heterose, capacidade geral e específica de combinação, estimar os efeitos gênicos envolvidos no controle genético da arquitetura de planta do feijoeiro e verificar a associação entre caracteres relacionados com a arquitetura de planta. Para isso, 14 linhagens foram cruzadas em esquema de dialelo parcial. Essas linhagens foram divididas em dois grupos, considerando a arquitetura da planta, a produtividade e o tipo de grãos. O grupo 1 foi composto por oito linhagens de porte ereto e o grupo 2 por seis linhagens do grupo carioca com bom desempenho produtivo e bom aspecto comercial de grão. A geração F<sub>1</sub> das 48 combinações e os 14 genitores foram avaliados na safra da seca/2008, semeadura em março, para as características produtividade de grãos, nota de arquitetura de planta, diâmetro do hipocótilo, altura média de planta, altura de inserção da primeira vagem, número de vagens total, número de vagens nos ramos e número de ramos. As características diâmetro do hipocótilo e altura média de planta foram as mais correlacionadas com a nota de arquitetura de planta. Os genes dominantes atuam reduzindo a nota de arquitetura de planta e aumentando o diâmetro do hipocótilo e os efeitos aditivos foram os predominantes no controle genético dessas características. A seleção de plantas de porte ereto, com maior diâmetro do hipocótilo, pode ser realizada em gerações precoces, devido a ação de genes de efeitos aditivos. Para produtividade de grãos e altura média de planta, a seleção deve ser realizada, preferencialmente, em gerações avançadas, pois houve maior contribuição dos efeitos de dominância na determinação destes caracteres. A estimativa da herdabilidade no sentido amplo, para

diâmetro do hipocótilo (0,81), foi maior do que para a nota de arquitetura de planta (0,60), evidenciando que a nota de arquitetura da planta é uma característica mais complexa do que o diâmetro do hipocótilo. O diâmetro do hipocótilo apresenta potencial para ser utilizado na seleção de plantas de porte ereto, considerando a seleção dentro de famílias. O cruzamento A170 x VC6 foi o mais promissor para produtividade de grãos, enquanto que, para extração de linhagens de porte ereto, o cruzamento A805 x BRS MG Majestoso foi o mais promissor. Uma alternativa para seleção de linhagens que associem porte ereto e alta produtividade de grãos é o cruzamento duplo entre os  $F_1$ 's dos cruzamentos A170 x VC6 e A805 x BRS MG Majestoso. A linhagem A525 se mostrou promissora para utilização em programas de melhoramento visando a obtenção de plantas de porte ereto.

## ABSTRACT

SILVA, Vanessa Maria Pereira e, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, January, 2011. **Genetic improvement of plant architecture in the common bean.** Adviser: Pedro Crescêncio Souza Carneiro. Co-advisers: José Eustáquio de Souza Carneiro and Cosme Damião Cruz.

This work aimed to obtain information on heterosis, general and specific combining ability, to estimate the genic effects involved in the genetic control of the plant architecture of common bean and investigate the association between traits related to plant architecture. Thus, 14 bean lines were crossed in a partial diallel system and divided into two contrasting groups, considering plant architecture, grain yield and type. Group 1 was composed of 8 erect plants and group 2 by 6 carioca grain group lines with good yield performance and commercial aspect. Generation  $F_1$  of the 48 combinations and the 14 parents were evaluated in the spring /2008 (March planting) for the characteristics grain yield, plant architecture score, diameter of the hipocotyl, mean plot height, height of first pod insertion, total number of pods, number of pods in the branches and number of branches. The characteristics diameter of the hipocotyl and plot mean height were the ones that most correlated with plant architecture score. The dominant genes act by reducing the plant architecture score and increasing the diameter of the hipocotyl and the additive effects were predominant in the control of these characteristics. The selection of erect plants, with a wider diameter of the hypocotyl, can be carried out in early generations, due the action of additive effect genes. For grain yield and plant mean height, selection must preferentially be carried out in advanced generations, as there was a greater contribution of the effects of dominance to the determination of these characters. The heritability estimate in the wide sense was greater for the diameter of the hipocotyl (0.81) than for the plant architecture score (0.60), showing that the latter is more complex than the former. The diameter of the

hipocotyl can be potentially used in the selection of more erect plants, considering within families- selection. Cross A170 x VC6 was the most promising for grain yield, while cross A805 x BRS MG Majestoso was the most promising for extraction of erect plant lines. An alternative for the selection of lines associating erect plant architecture and high grain yield is the double cross between the F<sub>1</sub>'s of the crosses A170 x VC6 and A805 x BRS MG Majestoso. Line A525 has a high potential to be used as parent in breeding programs aiming the obtaining of erect plants.

## **1. INTRODUÇÃO GERAL**

No melhoramento do feijoeiro, associado à produtividade de grãos, existe a necessidade de se obter plantas de arquitetura ereta. Plantas de porte ereto, além de permitir a colheita mecanizada, facilitam os tratos culturais, reduzem perdas na colheita e contribuem para o controle de alguns patógenos como o mofo branco. Entre os vários caracteres morfológicos envolvidos na expressão fenotípica da arquitetura do feijoeiro, são citados o hábito de crescimento, o comprimento da haste principal, o número e comprimento dos entrenós, a altura da planta, o número e ângulo de ramificações, a distribuição das vagens e o diâmetro do hipocótilo (Santos e Vencovsky, 1986; Teixeira et al., 1999).

O conhecimento do controle genético dos caracteres relacionados à arquitetura da planta do feijoeiro é essencial em um programa de melhoramento, pois auxilia o melhorista na definição das estratégias de melhoramento e de seleção mais adequadas, as quais maximizam os ganhos para esses caracteres. Desta forma, diversos autores desenvolveram pesquisas a fim de esclarecer a base genética dos caracteres envolvidos na determinação da arquitetura da planta de feijoeiro. Os resultados são muitas vezes discordantes, no entanto tem-se observado a predominância da ação gênica aditiva em relação à de dominância para a maioria dos caracteres (Nienhuis e Singh, 1986; Santos e Vencovsky, 1986; Kornegay et al., 1992; Teixeira et al., 1999).

As metodologias de análise dialélica possibilitam obter informações do controle genético dos caracteres e inferir a respeito da capacidade geral e específica de combinação dos genitores, permitindo identificar as populações segregantes com maior probabilidade de gerarem linhagens superiores (Cruz et al., 2004). Entre os métodos de análise dialélica propostos, os mais conhecidos são o de Griffing (1956), Gardner e Eberhart (1966) e Hayman (1954).

Nos programas de melhoramento do feijoeiro, nem sempre existe interesse na avaliação de todas as possíveis combinações em um dialelo completo, principalmente diante da dificuldade de obtenção de número suficiente de sementes híbridas e do interesse em combinar caracteres que se encontram em genitores distintos. Assim, a utilização de dialelos parciais desponta-se como uma alternativa promissora. Neste caso, são utilizados os modelos, adaptados a dialelos parciais, propostos por Geraldi e Miranda Filho (1988), Miranda Filho e Geraldi (1984) e Viana et. al (1999).

Diante do exposto, o presente trabalho foi realizado com os objetivos de obter informações sobre heterose, capacidade geral e específica de combinação, estimar os efeitos gênicos envolvidos no controle genético da arquitetura de planta do feijoeiro e verificar a associação entre caracteres relacionados com a arquitetura de planta.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. Morfologia e arquitetura da planta de feijão**

Para promover a seleção visando à melhoria da arquitetura do feijoeiro de modo a permitir que as plantas permaneçam mais eretas é necessário verificar quais caracteres estão associados a essa característica. Nesse contexto, é importante conhecer a planta de feijão.

O sistema radicular da planta de feijão é semelhante ao fasciculado (Santos e Gavilanes, 2006). É um sistema típico de uma dicotiledônea anual, sendo composto pela raiz principal, raízes basais (primeiras raízes que desenvolvem na base do sistema radicular), raízes adventícias (surgem da porção subterrânea do hipocótilo e crescem horizontalmente no solo mais superficial) e raízes laterais, que se originam das raízes principal, basais e adventícias (Rubio & Lynch, 2007; Vieira et al., 2008). É importante salientar que a raiz primária não é tipicamente pivotante e o feijoeiro concentra a maioria do sistema radicular nos 20 primeiros centímetros do solo. Como consequência, a planta se torna muito sensível ao estresse hídrico, além de provocar menor sustentação, dificultando que esta permaneça ereta. Entretanto, em condições favoráveis o sistema radicular pode atingir maiores profundidades (Santos e Gavilanes, 2006).

O feijoeiro é uma planta de caule herbáceo, classificado morfológicamente como haste. O aspecto vegetativo da planta é muito influenciado pelo caule, dependendo do seu desenvolvimento e grau de lignificação. Ele é constituído de nós e entrenós cujo número é variável e dependente do hábito de crescimento. O primeiro nó é o ponto de inserção dos cotilédones; o segundo das folhas primárias ou simples e o terceiro, da primeira folha trifoliolada ou composta e assim sucessivamente (Santos e Gavilanes, 2006).

As folhas do feijoeiro são de dois tipos, simples e compostas. As simples são apenas duas, também chamadas de primárias, que aparecem no segundo nó do caule,

apresentam filotaxia oposta, formato cordiforme e acuminadas. Elas caem antes do completo desenvolvimento da planta. Já as demais folhas são compostas ou trifolioladas e ficam inseridas nos nós do caule e nas ramificações. São constituídas por estípulas, pecíolo, raque, pecíolulo, pulvínulos e lâmina foliar composta, com filotaxia geralmente alterna e predominância da disposição dística. Os folíolos possuem forma ovada ou triangular. O folíolo central ou terminal é simétrico e acuminado, enquanto que os laterais são assimétricos e também acuminados, sendo o tamanho muito influenciado pelo ambiente (Santos e Gavilanes, 2006). A cor, o tamanho e a pilosidade das folhas variam de acordo com a cultivar, a posição na planta, a idade da planta e as condições ambientais.

É importante ressaltar a grande relação do tamanho das folhas no porte da planta, especialmente em feijões mesoamericanos. Normalmente, plantas com folhas menores têm maior probabilidade de serem eretas. Sabe-se também que as cultivares de folhas grandes possuem grãos grandes e as de folhas pequenas grãos menores. Essa é uma das razões da dificuldade de se obter plantas eretas com grãos maiores (Kelly & Adams, 1987). Apesar de a maioria das cultivares de porte ereto possuir grãos pequenos, é possível obter linhagens com arquitetura ereta e grãos com tamanho comercial (Collicchio et al., 1997).

O fruto é legume, ou vagem, deiscente, constituído de duas valvas unidas por duas suturas, uma dorsal e outra ventral. A forma do fruto pode ser reta, arqueada ou recurvada e o ápice, ou extremidade estilar, abrupto ou afilado, arqueado ou reto. A cor da vagem é característica da cultivar, podendo ser uniforme ou apresentar estrias e variar de acordo com o grau de maturação (Santos e Gavilanes, 2006). O tamanho das vagens e a altura de inserção destas possuem grande implicação na arquitetura do feijoeiro. Plantas com vagens grandes e que tocam o solo são indesejáveis, pois aumentam as perdas na colheita e depreciam a qualidade dos grãos, especialmente na safra “das águas”.

Quanto ao tipo de planta, a classificação mais aceita é apresentada por Vieira et al. (2005). O feijoeiro foi classificado em quatro tipos, I, II, III e IV, levando em consideração o hábito de crescimento, que pode ser determinado ou indeterminado, o número e o comprimento dos entrenós ao longo da haste principal, a intensidade e o ângulo de inserção das ramificações laterais e a habilidade de emitir “guia” capaz de se enrolar em um suporte.

As cultivares do tipo I possuem hábito de crescimento determinado e arbustivo. As plantas iniciam o florescimento nas gemas apicais do caule e das ramificações, que

se diferenciam em inflorescências. Dessa forma, o crescimento vegetativo é interrompido com o início da fase reprodutiva. O florescimento se dá do ápice para a base, de maneira uniforme e em um período relativamente curto, sendo, geralmente, mais precoces que as cultivares de hábito indeterminado. São caracterizadas por apresentarem menor número de nós e entrenós mais curtos (Santos e Gavilanes, 2006).

Estão incluídas nos tipos II, III e IV todas as cultivares de hábito de crescimento indeterminado, mas estas diferem no comprimento da guia, diâmetro do caule e número e ângulo de inserção das ramificações (Kelly, 2001). Nas plantas de hábito indeterminado, os meristemas apicais continuam vegetando durante o florescimento que ocorre da base para o ápice. Após o florescimento a planta continua crescendo até que as condições não sejam mais favoráveis. Desta forma, em cultivares de hábito indeterminado, a fase vegetativa não termina com o início da fase reprodutiva, sendo que esta fase se torna mais longa (Santos e Gavilanes, 2006).

As plantas do tipo II normalmente apresentam “guia” curta. O número de ramos laterais é ligeiramente maior em relação às plantas do tipo I. Apresentam padrão de ramificação limitado, de ângulo agudo com a haste principal. As vagens, geralmente, não são fixadas nos nós mais baixos, concentrando na porção média da planta, formando um perfil estreito, com plantas eretas e arbustivas.

Plantas do tipo III são semitrepadoras e possuem maior número de ramificações em relação às do tipo II. Devido à falta de resistência do caule durante o enchimento de grãos, ao maior número de vagens fixadas nos nós mais baixos e ao maior número de ramos com ângulo aberto, as plantas se tornam prostradas. Estas plantas são mais desenvolvidas que as do tipo II por possuírem maior número de nós e internódios mais longos (Vilhordo et al., 1996; Kelly, 2001; Santos e Gavilanes, 2006).

Quanto ao tipo IV, as plantas apresentam forte dominância apical e grande capacidade trepadora, com emissão de ramificações com guias longas, tornando-as mais volúveis. A haste principal possui entre 20 e 30 nós, podendo alcançar mais de dois metros de comprimento. O período de florescimento é mais amplo, apresentando, ao mesmo tempo, vagens maduras e flores (Vieira et al., 2005).

O número e o ângulo de ramificações laterais são outras características que influenciam a arquitetura do feijoeiro. Plantas do tipo III, por exemplo, apresentam muitas ramificações e ângulo aberto, o que favorece o acamamento. Já plantas do tipo II possuem o porte mais ereto, pois apresentam ramificações laterais mais fechadas e em menor número. Estas ramificações podem se originar nas gemas axilares da haste

principal, no ponto de inserção dos cotilédones ou em nós de ramos laterais (Vilhordo et al., 1996).

Outras características morfológicas como a altura da planta, número e comprimento dos entrenós, diâmetro e comprimento do hipocótilo, número de vagens no terço superior, médio e inferior, altura de inserção da primeira vagem e número de vagens na haste principal foram muito estudadas visando identificar as que melhor definem a arquitetura da planta do feijoeiro (Izquierdo & Hosfield, 1983; Nienhuis & Singh, 1986; Acquah et al., 1991 e 1992, Kornegay et al., 1992; Brothers & Kelly 1993). Destaque foi dado para altura da planta, diâmetro do hipocótilo, distribuição de vagens na secção média da planta e ângulo das ramificações (Acquah et al., 1991 e 1992).

A produção e o tamanho da semente são outras características de interesse e que comumente são relacionadas com a arquitetura da planta. Em geral, cultivares de crescimento determinado são menos produtivas que as de hábito indeterminado (Coyne, 1980; White et al., 1992; Cichy et al. 2009). Dawo et al. (2007), considerando os componentes de rendimento de plantas F<sub>3</sub> de feijão comum, oriundas do cruzamento de cultivares de hábito determinado com indeterminado, constataram que as plantas de crescimento indeterminado apresentaram o dobro de rendimento de sementes por planta comparado com plantas de hábito determinado. Isso ocorreu porque havia, aproximadamente, 50% mais vagens por planta e 50% mais sementes por vagem nas plantas de hábito indeterminado. Entretanto, é possível obter plantas que associem porte ereto e boa produtividade (Collicchio et al., 1997; Menezes Júnior et al., 2008).

No período de 1960 a 1990, a obtenção da planta ideal (ideótipo), recebeu grande atenção dos pesquisadores em todo o mundo (Donald, 1968; Rasmusson, 1984; Rasmusson, 1987). No caso do feijoeiro, Adams (1973) estabeleceu um modelo de planta ideal, que deveria ter as seguintes características morfológicas:

- 1) eixo central: haste principal com um mínimo de ramos eretos, caule vigoroso e espesso, numerosos nós e entrenós superiores de comprimento médio;
- 2) racemos: axilares, a cada nó, muitas flores, pedúnculo curto, comprimento total não muito grande;
- 3) folhas: numerosas, pequenas, capazes de orientar-se verticalmente; numerosas e pequenas células do mesófilo e alto índice de estômatos;
- 4) vagens: longas e com muitas sementes, maturação uniforme;
- 5) sementes: tão grandes quanto possível, dentro do padrão comercial;
- 6) hábito de crescimento: determinado, ereto e estreito;

- 7) taxa de crescimento: rápida acumulação da área foliar ótima;
- 8) duração do crescimento: rápido estabelecimento das estruturas nutricionais e longo período do florescimento à maturação.

Este tipo de planta (ideótipo) foi proposto para monocultivo em condições favoráveis de umidade, luz, nutrientes e temperatura. Ciclo de aproximadamente 100 dias e densidade de plantio de aproximadamente 17 plantas por metro, com 35 cm entre linhas de plantio, resultando em cerca de 500000 plantas por hectare.

Durante a fase de desenvolvimento do ideótipo na década de 1970, percebeu-se que eram necessárias algumas modificações no modelo original proposto por Adams (1973). Baseado em evidências científicas acumuladas durante esse período, observou-se correlações negativas entre o primeiro modelo (ideótipo) e os componentes da produtividade. Outra correlação negativa que chamou a atenção foi entre a combinação de muitos nós por planta e múltiplas vagens por nó. Assim, Adams (1982) apresentou um ideótipo revisado para o feijoeiro, denominado de “architype”, morfologicamente este ideótipo deveria ter de 3 a 5 ramos basais, hipocótilo grosso, altura de planta entre 50 a 55 centímetros (12 a 15 nós), perfil ereto e estreito, além de plantas do tipo II com hábito de crescimento indeterminado, mas de “guia” curta.

A maior diferença morfológica entre o modelo original e o revisado é a transição de hábito de crescimento determinado para indeterminado com plantas do tipo II e de “guia” curta. Finalmente Adams (1982) concluiu: “nós não podemos afirmar que um “architype” ou ideótipo é adequado para todas as situações. Vários ideótipos ou “architypes” podem ser pouco ou profundamente diferentes uns dos outros, sendo requeridos de acordo com a reunião dos diferentes tratos culturais e ou condições ambientais”.

## **2.2. Controle genético dos caracteres associados à arquitetura da planta**

O entendimento do controle genético dos caracteres associados com a arquitetura da planta do feijoeiro é premissa básica para o desenvolvimento de um programa que almeje a obtenção de cultivar de porte ereto. Desta forma, diversos autores realizaram pesquisas a fim de esclarecer a base genética dos caracteres envolvidos com a arquitetura da planta de feijão. Os resultados, embora muitas vezes discordantes, observou-se predominância de ação gênica aditiva em relação à de dominância para a maioria dos caracteres (Nienhuis e Singh, 1986; Santos e Vencovsky, 1986; Kornegay et al., 1992; Teixeira et al., 1999).

Quanto ao hábito de crescimento, este é controlado geneticamente por um único gene denominado *fin*, com dominância do alelo que condiciona o hábito indeterminado (Norton, 1915; Leakey, 1988; Kornegay et al., 1992; Pañeda et al.; 2008). Esse gene tem efeito pleiotrópico em vários caracteres. O alelo recessivo *fin* que confere hábito determinado, também favorece a precocidade no florescimento, reduz o número de nós no caule e, em consequência, o número de vagens por planta. Porém, MacClean et al. (2002) e Tar'an et al. (2002) sugerem a existência de múltiplos genes controlando o hábito de crescimento no feijoeiro, com base em mapeamento do referido gene em diferentes grupos de ligação. Já Singh (1996), avaliando a geração F<sub>1</sub> resultante do cruzamento de linhagens de hábito de crescimento determinado e indeterminado, obteve resultados contraditórios, isto é, o alelo dominante foi o responsável pelo hábito de crescimento determinado.

A presença de guia, comum em cultivares de hábito indeterminado, é uma característica monogênica, controlada pelo gene *Tor*, com dominância do alelo que condiciona a formação da guia (Leakey, 1988, Basset, 2004). Kretchmer et al. (1979), a partir do cruzamento de três linhagens de hábito de crescimento indeterminado não estável, caracterizadas pela presença de “guia” capaz de se enrolar a 360° em um suporte, com uma linhagem de hábito de crescimento indeterminado (arbustivo), porém estável (não trepador ou “guia” curta), estudaram o controle genético do comprimento da “guia”. Foram avaliadas as gerações parentais, F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> e retrocruzamentos. Pelos resultados obtidos constatou-se a presença de um gene, denominado *Cl*, cujo alelo dominante confere crescimento não estável ou presença de “guia” longa, provavelmente o mesmo gene *Tor*. Instabilidade na capacidade de emitir guia foi observada, dependendo da quantidade de luz que a planta recebe (Kretchmer et al., 1977 e 1979).

Visando estudar a herança da capacidade de se enrolar em um suporte ou presença de “guia”, que pode ser curta (estável) ou longa (trepador), Checa et al. (2006) realizaram três cruzamentos envolvendo linhagens de hábito de crescimento indeterminado e de diferentes *pools* gênicos, Os cruzamentos foram entre as linhagens de origem andina x andina [“BRB32” (tipoII) x “MAC47” (tipo IV)], mesoamericana x mesoamericana [“Tio Canela” (tipo II) x “G2333” (tipo IV)] e mesoamericana x andina [“G2333” (tipo IV) x “G19839” (tipo III)]. Cada população foi analisada em seis gerações (P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, RC<sub>1</sub> e RC<sub>2</sub>) e as avaliações foram realizadas aos 40 e 70 dias após o plantio. Foram obtidos os dados de altura de planta e comprimento de entrenós. Observaram que a porção aditiva do modelo foi mais importante que a porção aditiva-dominante. As estimativas de herdabilidade variaram de 62,3 a 85,6% para

altura de planta e de 66,5 a 83,7% para comprimento de entrenós. A análise de gerações e as estimativas de herdabilidade indicaram que a herança da altura de planta e comprimento de entrenós, em feijões de hábito indeterminado, é relativamente simples.

Com o objetivo de estudar o controle genético de características morfológicas de um mutante de ramificações quase que ausentes, resultando em plantas de haste única, pecíolos curtos, folhas grossas de cor verde escuro, pequenas e mais quebradiças que o normal, além de entrenós longos, denominado “Topiary”, Guner & Myers (2001) realizaram o cruzamento deste mutante com quatro cultivares, sendo três de hábito de crescimento determinado (tipo I) e uma de crescimento indeterminado (tipo II). Quanto ao hábito de crescimento, este mutante possui o alelo *Fin* que confere hábito indeterminado, porém suas características são de crescimento determinado, representando, portanto, uma nova forma de crescimento determinado em feijão comum. As informações sobre o número de plantas normais e mutantes foram obtidas nas gerações  $F_2$  e  $F_3$ . As plantas  $F_1$  eram normais e de crescimento indeterminado, indicando que o mutante é recessivo. Constataram que um único gene, denominado *top* (*Topiary*), em que o alelo recessivo é responsável pela expressão do caráter. Foi confirmado também que esse gene possui segregação independente do gene *fin* (Guner & Myers, 2001). O mérito genético deste mutante está na possibilidade de transferência da característica haste única para populações de melhoramento que visam à obtenção de linhagens de porte ereto.

A partir do cruzamento entre as cultivares de feijão comum “Dark Red Kidney” de hábito de crescimento determinado, pequeno número de entrenós, porém longos e cultivar “Great Northern Nebraska” de hábito de crescimento indeterminado (“Dark Red Kidney” x “Great Northern Nebraska”) e entre as cultivares “PI 209806 Yellow Eye” de crescimento indeterminado, com vários entrenós, porém curtos e a cultivar “Great Northern Nebraska” (“PI 209806 Yellow Eye” x “Great Northern Nebraska”), foi possível estudar o controle genético da altura de planta e seus componentes, número e comprimento de entrenós, características diretamente relacionadas com a arquitetura da planta do feijoeiro. As avaliações foram realizadas nos pais e  $F_1$ 's. Observou-se heterose para altura de planta em ambos os cruzamentos. No cruzamento “PI 209806 Yellow Eye” x “Great Northern Nebraska”, observou-se dominância fenotípica completa para número e comprimento de entrenós. Na geração  $F_1$  do cruzamento “Dark Red Kidney” x “Great Northern Nebraska” verificou-se heterose para altura de planta e para um de seus componentes, número de entrenós. Pelos resultados observou que a

heterose possivelmente pode ser explicada com base na dominância, ou quiçá, com base na sobredominância (Coyne, 1965).

Teixeira et al. (1999) obtiveram informações sobre o controle genético de alguns caracteres relacionados com a arquitetura da planta do feijoeiro. Para isto, avaliaram plantas individuais de diferentes gerações segregantes oriundas do cruzamento entre Carioca x FT-Tarumã e Carioca MG x H-4, as quais possuem diferentes caracteres agrônômicos associados à arquitetura. Além da nota de porte, foram avaliados grau de ramificação, comprimento de entrenós, diâmetro de entrenós e altura de inserção da primeira vagem. Constatou-se que, entre os caracteres morfológicos associados à arquitetura do feijoeiro, o comprimento de entrenós foi o que explicou a maior parte da variação na arquitetura da planta. Houve predominância de efeito aditivo no controle do caráter. As estimativas de herdabilidades, foram de pequena magnitude e associadas a erros elevados, permitindo inferir que o efeito do ambiente é grande na expressão do caráter. A avaliação do porte por meio de notas utilizando plantas individuais revelou ser de baixa eficiência. Contudo, quando utilizaram famílias, apesar da elevada influência ambiental, as estimativas dos parâmetros genéticos evidenciaram a possibilidade de sucesso com a seleção.

A predominância do efeito aditivo no controle genético da altura da planta e do comprimento da haste principal também foi observada por Nienhuis e Singh (1986) e Santos e Vencovsky (1986). Singh (1991) relatou que o comprimento da haste principal é controlado por um gene, cujo alelo dominante é responsável por haste longa, além da ação de genes modificadores. Verificou também a presença de heterose para o número de nós na haste principal, nos ramos laterais e para o número total de nós por planta. Quanto ao número de ramificações, este é influenciado por efeitos gênicos aditivos e não aditivos sendo predominante o efeito gênico aditivo (Davis e Frazier, 1966; Nienhuis e Singh, 1986).

Outro caráter que ocorre frequentemente no feijoeiro, sobretudo em cultivares que apresentam porte ereto é o “*stay green*”, ou seja, a senescência tardia do caule e das folhas em relação às vagens. Aguiar et al. (2000) avaliaram plantas individuais e famílias resultantes do cruzamento de duas cultivares contrastantes para *stay green*. Constataram que houve predominância dos efeitos de dominância e que o controle genético deve ser monogênico ou oligogênico, com influência do ambiente na manifestação do caráter. A estimativa do número de genes envolvidos no controle do caráter foi de 1,4 a 5,1. Outro ponto importante é que as estimativas das correlações

genéticas e fenotípicas entre o caráter *stay green* e a produtividade de grãos foram de pequena magnitude, permitindo inferir que os dois caracteres devem ser independentes.

Quanto ao tamanho da semente, tem sido constatado que as cultivares de porte ereto normalmente possuem grãos pequenos (Kelly e Adams, 1987). Esse fato restringe a possibilidade de se associar plantas de porte mais ereto com grãos dentro do padrão comercial. Contudo, Brothers e Kelly (1993) não encontram associação entre o porte e o peso da semente, sugerindo a ausência de ligação entre essas características.

A maioria das cultivares de feijoeiro disponíveis que apresentam porte ereto possuem sementes pequenas e, por isso, não são aceitas no mercado. Neste contexto, Collicchio et al. (1997) realizaram estudo para verificar se existe esta associação entre porte da planta e tamanho das sementes. Constataram que a correlação entre nota de porte e produção de grãos é inexpressiva e que não existe associação entre nota de porte e peso de 100 sementes, sugerindo que os genes que controlam estes caracteres sejam independentes e, ainda, ser possível selecionar plantas eretas com qualquer tamanho de sementes. Resultados semelhantes já tinham sido observados por Kornegay et al. (1992) e Brothers & Kelly (1993), em que não encontraram associação entre o porte e o peso da semente.

Tendo em vista à obtenção dos componentes da variância fenotípica para os caracteres produtividade de grãos e notas de porte, Moreto et al. (2007) avaliaram duas populações segregantes provenientes do cruzamento entre duas cultivares de feijoeiro contrastantes para porte e cor do grão (BRS Talismã x BRS Valente). Utilizando o método genealógico constataram predomínio de efeitos aditivos no controle genético da produtividade de grãos e de dominância para notas de porte.

A seleção de plantas de porte ereto não tem sido fácil, com o agravante das condições ambientais exercerem grande influência na expressão da característica. Em condições de alta umidade, alta temperatura e solo de alta fertilidade, há uma tendência de que, mesmo as plantas de porte ereto se tornam decumbentes. Assim, plantas do tipo II, geralmente mais eretas, nessas condições, podem se tornar prostradas (Menezes Júnior et al., 2008).

### **2.3. Escolha de genitores**

Atualmente, o emprego da hibridação no melhoramento do feijoeiro é o principal método para a obtenção de novas linhagens. Ela tem como objetivo reunir em uma mesmo indivíduo os alelos desejáveis que se encontram em genitores distintos. Por meio do cruzamento entre esses genitores é gerada uma população na qual será

praticada a seleção visando a obtenção de linhagens que reúnam os fenótipos desejáveis dos caracteres de interesse (Ramalho et al., 1993; Ramalho et al., 2001).

Na condução de um programa de melhoramento por hibridação existem três etapas fundamentais: a escolha dos genitores a serem cruzados, a obtenção da população segregante e a escolha do método de condução da população segregante (Ramalho et al., 2001).

O sucesso de todo programa de melhoramento depende da eficiência na escolha dos genitores, os quais devem ser cuidadosamente avaliados. Em geral, os cruzamentos são feitos entre genótipos cujas características são complementares e que atendam os objetivos do programa. A decisão depende dos caracteres a serem melhorados, do tipo de controle genético e da fonte de germoplasma disponível (Fehr, 1987).

Se o caráter a ser melhorado for de herança qualitativa, ou seja, controlado por poucos genes e pouco influenciado pelo ambiente, a decisão sobre os genitores é mais fácil, neste caso, normalmente é realizada a hibridação de uma linhagem portadora do alelo de interesse com outra que apresente boas características agrônômicas. Em se tratando de caracteres quantitativos, como é o caso da arquitetura de planta e produtividade de grãos do feijoeiro, a escolha dos genitores deve possibilitar a obtenção de populações segregantes com média alta e variabilidade suficiente para o caráter sob seleção (Ramalho et al., 2001).

Associado a experiência e a vivência do melhorista com a cultura, existe uma série de procedimentos que podem ser aplicados para auxiliá-lo na escolha acertada dos genitores e/ou populações com as quais irá trabalhar (Baenziger e Peterson, 1991). Para se proceder à escolha dos genitores, pode-se utilizar a média dos experimentos de avaliação de cultivares, os cruzamentos dialélicos, técnicas multivariadas, dentre outros. Além disso, é importante observar seus respectivos tipos de grãos, resistência às doenças e pragas, tipo de planta, qualidades culinárias e suas origens. No caso de escolha de populações segregantes, também existem algumas metodologias, tais como: estimativas de  $m + a$  e  $d$  e o método de Jinks e Pooni (1976).

A alternativa mais empregada de escolha de genitores utilizando apenas o seu próprio desempenho é a média do caráter em questão. Ramalho et al. (2001) apontam como desvantagem desse procedimento a impossibilidade de antever a variabilidade genética no cruzamento. O fato de dois pais apresentarem média alta não implica que o híbrido entre eles irá gerar uma população segregante com variabilidade suficiente para obter sucesso com a seleção.

Uma medida que pode ser associada à média e que fornece informação da divergência entre os genitores é o coeficiente de parentesco. Espera-se que se os pais não forem aparentados, a população oriunda de seu cruzamento apresente grande variabilidade genética (Ramalho et al., 2001).

As técnicas de análise multivariada também podem ser utilizadas na escolha de genitores, com base no desempenho *per se*. Elas possibilitam a escolha por meio da avaliação de um conjunto de caracteres (Abreu, 1997). Neste caso, a divergência genética pode também ser obtida por meio de marcadores moleculares. A vantagem, nesta situação, é poder detectar divergência genética diretamente no DNA. É importante salientar que dois genitores em potencial podem apresentar enorme divergência em termos moleculares, mas para o caráter sob seleção essas diferenças podem não ser expressivas (Ramalho et al., 2001).

#### **2.4. Cruzamentos dialélicos**

Dentre os métodos de escolha de genitores e/ou populações segregantes destacam-se os cruzamentos dialélicos. 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).

O uso de cruzamentos dialélicos muitas vezes é limitado em virtude do grande número de cruzamentos necessários para avaliar determinado grupo de genitores. Além disso, nem sempre existe interesse na avaliação de todas as possíveis combinações de um dialelo completo, principalmente diante da dificuldade de obtenção de número suficiente de sementes híbridas, em espécies como o feijoeiro.

Em geral, os programas de melhoramento genético do feijoeiro visam melhoria em mais de uma característica. Nesse sentido, a hibridação entre potenciais genitores vem sendo amplamente utilizada. O uso do dialelo parcial, em que são avaliados os  $F_1$ 's de dois grupos de genitores, permite potencializar esta técnica. Isto porque, além de determinar o controle genético dos caracteres de interesse e prever o potencial das populações segregantes oriundas das plantas  $F_1$ 's avaliadas, permitem maximizar a exploração dos cruzamentos entre genitores que são complementares em relação a fenótipos desejáveis de alguns caracteres de interesse.

Na literatura são encontradas modificações das metodologias de Griffing (1956), Gardner e Eberhart (1966) e Hayman (1954) adaptadas a dialelos parciais. As

metodologias de dialelos parciais distinguem-se pelas gerações avaliadas, sendo mais comum a análise de  $F_1$ 's ou  $F_1$ 's e genitores, e pelas informações genéticas que fornecem. A vantagem de inclusão dos genitores no dialelo é a possibilidade de estudar tanto a capacidade combinatória quanto o efeito heterótico manifestado nos híbridos. Nestes estudos utilizam os modelos de Geraldi e Miranda Filho (1988) e Miranda Filho e Geraldi (1984), adaptados dos modelos de Griffing (1956) e Gardner e Eberhart (1966), respectivamente (Cruz et al., 2004).

No modelo de Griffing (1956) adaptado a dialelos parciais, no qual são estimados os efeitos e a soma de quadrados de efeitos da capacidade geral e específica de combinação, a análise pode ser feita por duas alternativas. 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., 2004). O modelo proposto por Geraldi e Miranda Filho (1988), adaptado do modelo de Griffing (1956) é o seguinte:  $Y_{ij} = \mu + \frac{1}{2}(d_1 + d_2) + g_i + g'_j + s_{ij} + \bar{\varepsilon}_{ij}$ , 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 ( $i = 0, 1, 2 \dots 8$ );  $Y_{0j}$  : é a média do j-ésimo progenitor do grupo 2 ( $j = 0, 1, 2 \dots 6$ );  $\mu$  : média geral do dialelo;  $d_1, d_2$  : contrastes envolvendo médias dos grupos 1 e 2 e a média geral;  $g_i$  : efeito da capacidade geral de combinação do i-ésimo progenitor do grupo 1;  $g'_j$  : efeito da capacidade geral de combinação do j-ésimo progenitor do grupo 2;  $s_{ij}$  : efeito da capacidade específica de combinação; e  $\bar{\varepsilon}_{ij}$  : erro experimental médio.

A adaptação do modelo de Gardner e Eberhart (1966), proposta por Miranda Filho e Geraldi (1984), é utilizada 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:  $Y_{ij} = u + \alpha d + \frac{1}{2}(v_i + v'_j) + \theta(\bar{h} + h_i + h'_j + s_{ij}) + \bar{\varepsilon}_{ij}$ , 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 ( $i = 0, 1, 2 \dots 8$ ), com  $\alpha = 1$  e  $\theta = 0$ ;  $Y_{0j}$  : é a média do j-ésimo progenitor do grupo 2 ( $j = 0, 1, 2 \dots 6$ ), 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;  $\bar{\varepsilon}_{ij}$  : erro experimental médio.

Visando o entendimento dos efeitos genéticos envolvidos na determinação dos caracteres, Hayman (1954) propôs um método que fornece informações sobre o mecanismo básico de herança do caráter em estudo, dos valores genéticos dos genitores e do limite teórico de seleção. Este método permite realizar a análise dialélica de gerações  $F_1$  e/ou  $F_2$ , obtidas a partir de cruzamentos envolvendo genitores homozigóticos (Cruz et al., 2004). 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 genóticas 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 genóticas dos genitores do grupo 2:

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

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

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

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

4) Variância das médias genóticas 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 genótica 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 genóticas dos híbridos do genitor s:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$H_2 = \sum_{a=1}^k h_a^2 (1 - w_a^2) (1 - w_a'^2) = 16 \sum_{a=1}^k u_a v_a u'_a v'_a h_a^2$$

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

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

11) Variância das médias genóticas dos híbridos  $F_1$ :

$$V_{F_1} = \frac{1}{4}(D_{(1)} + D_{(2)} - F_{(1)} - F_{(2)} + H_{1(1)} + H_{1(2)} - H_2)$$

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 é 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, mesmos números 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.

A partir da estimação dos componentes genéticos é possível estimar alguns parâmetros genéticos:

1) Grau médio de dominância (h/d)

$$\text{Gmd grupo 1} = \sqrt{H_{1(1)} / D_{(1)}}$$

$$\text{Gmd grupo 2} = \sqrt{H_{1(2)} / D_{(2)}}$$

## 2) Proporção entre genes dominantes e recessivos nos genitores de um mesmo grupo

$$\text{Grupo 1} = \frac{\sqrt{4D_{(2)}H_{1(2)} + F_{(1)}}}{\sqrt{4D_{(2)}H_{1(2)} - F_{(1)}}}$$

$$\text{Grupo 2} = \frac{\sqrt{4D_{(1)}H_{1(1)} + F_{(2)}}}{\sqrt{4D_{(1)}H_{1(1)} - F_{(2)}}}$$

Quando existe dominância completa no sistema poligênico em estudo a relação acima reflete o valor médio da proporção entre o número de genes dominantes e recessivos. Quando a relação é próxima de zero, indica que os genitores do grupo têm poucos genes dominantes e muitos genes recessivos. Quando é próxima de um, indica que os genitores do grupo têm o mesmo número de genes dominantes e recessivos. Quando superior a um, indica que os genitores têm muitos genes dominantes e poucos recessivos.

## 3) Direção de dominância

$$h^2 D_{(1)}D_{(2)} / H_2 D_{(3)}^2 = \frac{(k_+ - k_-)^2}{k}$$

Sendo  $k_+$  e  $k_-$  os números de genes dominantes que aumentam e que diminuem a expressão do caráter, respectivamente.

Se existe dominância, mas a relação acima é nula, evidencia-se que o número de genes dominantes com efeito positivo é o mesmo de genes dominantes com efeito negativo (dominância bidirecional). Se a relação é positiva, conclui-se que o número de genes dominantes que aumentam e que diminuem a expressão do caráter são desiguais (dominância unidirecional) (Viana et al., 1999).

## 4) Herdabilidade

Em relação à população formada pelos híbridos, pode-se definir duas herdabilidades, no sentido amplo e restrito:

$$h_A^2 = \frac{V_{F1}}{V_{F1} + E'}$$

$$h_R^2 = \frac{(1/4)(D_{(1)} + D_{(2)})}{V_{F1} + E'}$$

Sendo  $V_{F1}$  a variância das médias fenotípicas dos híbridos  $F_1$  e  $E'$  componente não genético.

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, A. F. B. **Predição do potencial genético de populações segregantes do feijoeiro utilizando genitores inter-raciais.** 1997. 80 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

ACQUAAH, G.; ADAMS, M. W.; KELLY, J. D. A factor analysis of plant variables associated with architecture and seed in dry bean. **Euphytica**, Wageningen, v. 60, n. 1, p. 171-177, 1992.

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

ADAMS, M. W. Plant architecture and physiological efficiency. In: CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. **Potentials of field beans and other food legumes in Latin America.** Cali, Colombia, 1973. p. 226-278.

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

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

BAENZIGER, P.S.; PETERSON, C.J. Genetic variation: its origin and use for breeding self-pollinated species. In: STALKER, H.T. e J.P. MURPHY. **Plant Breeding in the 1990's.** Wallingford, CAB International, p.69-100, 1991.

BASSET, M. J. List of genes - *Phaseolus vulgaris* L. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Forte Collins, v. 47 p. 1-24, 2004.

BROTHERS, M. E.; KELLY, J. D. Interrelationship of plant architecture and yield components in the pinto bean ideotype. **Crop Science**, Madison, v. 33, n. 6, p. 1234-1238, Nov./Dec. 1993.

CHECA O., CEBALLOS H., BLAIR M. W. Generation means analysis of climbing ability in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) **J. Hered.** v. 97, p. 456-465, 2006.

CICHY, K. A.; SNAPP, S. S.; BLAIR, M. W. Plant growth habit, root architecture traits and tolerance to low soil phosphorus in an Andean bean population. **Euphytica**, Wageningen, v. 165, n. 1, p. 257-268, 2009.

COLLICCHIO, E.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Associação entre o porte da planta do feijoeiro e o tamanho dos grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 3, p. 297-304, mar. 1997.

COYNE, D. P. Modification of plant architecture and crop yield by breeding. **Hortscience**, Alexandria, v. 15, n. 3, p. 244-247, 1980.

COYNE, D. P. Component interaction in relation to heterosis for plant height in *Phaseolus vulgaris* L. variety crosses. **Crop Science**, Madison, v. 5, n. 1, p. 17-18, 1965.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético** (volume 1). 3ª Ed. Viçosa: UFV. 2004. 480p.

DAVIS, D. W.; FRAZIER, W. A. Inheritance of some growth habit components in certain types of bush lines of *Phaseolus vulgaris* L. **Proceedings of the American Society Horticultural Science**, Mount, v. 88, p. 384-392, 1966

DAWO M. I., SANDERS F. E., PILBEAM D. J. Yield, yield components and plant architecture in the F3 generation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) derived from a cross between the determinate cultivar ‘Prelude’ and an indeterminate landrace. **Euphytica** v. 156, p.77–87, 2007.

DONALD, C. M. The breeding of crop ideotypes. **Euphytica**, Wageningen, v. 17, n. 2, p. 385-403, Oct. 1968.

FEHR, W. R. **Principles of cultivar development: theory and technique**. New York: Macmillan, 1987. v. 1, 525 p.

GARDNER, C. O.; EBERHART, S. A. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. **Biometrics**, Washington, v. 22, p. 439-452, 1966.

GERALDI, I.O.; MIRANDA-FILHO, J.B. Adapted models for the analysis of combining ability of varieties in partial diallel crosses. **Brazilian Journal of Genetics**, Ribeirão Preto, v.11, p.419-430, 1988.

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

GUNER, N.; MYERS, J. R. Characterization of topiary (*top*) an architectural mutant of common bean. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 126, n. 2, p. 105-109, 2001.

HAYMAN, B.I. The theory and analysis of diallel crosses. **Genetics**, v. 39, p. 789-809, 1954.

- IZQUIERDO, J. A.; HOSFIELD, G. L. The Relationship of Seed Filling to Yield among Dry Beans With Differing Architectural Forms. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 108, n. 1, p. 106-111, 1983.
- JINKS, J. L.; POONI, H. S. Predicting the properties of recombinant inbred lines derived by single seed descent. **Heredity**, Edinburgh, v. 36, n. 2, p. 253-266, 1976.
- KELLY, J. D. Remaking bean plant architecture for efficient production. **Advances in Agronomy**, New York, v. 7, n. 1, p. 109-143. 2001.
- KELLY, J. D.; ADAMS, M. W. Phenotypic recurrent selection in ideotype breeding of pinto beans. **Euphytica**, Wageningen, v. 36, n. 1, p. 69-80, 1987.
- KORNEGAY, J.; WHITE, J. W.; CRUZ, O. O. Growth habit and gene pool effects on inheritance of yield in common bean. **Euphytica**, Wageningen, v. 62, n. 3, p. 171-180, 1992.
- KRETCHMER, P. J.; LAING, D. R.; WALLACE, D. H. Inheritance and morphological traits of a phytochrome-controlled single gene in bean. **Crop Science**, Madison, v. 19, n. 5, p. 605-607, Sep./Oct. 1979.
- KRETCHMER PJ, OZBUN JL, KAPLAN SL, LAING DR, WALLACE DH. Red and far-red light effects on climbing in *Phaseolus vulgaris* L. **Crop Science**, Madison, v. 17, p. 797-799, 1977.
- LEAKEY, C. L. A. Genotypic and phenotypic markers in common bean. In: Gepts, P. (Ed). **Genetics resources of *Phaseolus* beans**. Dordrecht: Kluwer Academics, 1988. p. 245-327.
- MACCLEAN, P. E.; LEE, R. K.; OTTO, C.; GEPTS, P.; BASSETT, M. J. Molecular and phenotypic mapping of genes controlling seed coat pattern and color in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **The Journal of Heredity**, Oxford, v. 93, n. 2, p. 148-152, Mar./Apr. 2002.
- MENEZES JÚNIOR, J. A. N.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. seleção recorrente para três caracteres do feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.4, p. 833-838, 2008.
- MIRANDA FILHO, J.B.; GERALDI, I.O. An adapted model for the analysis of partial diallel cross. **Brazilian Journal of Genetics**, Ribeirão Preto, v.7, p.677-688, 1984.
- MORETO, A.; RAMALHO, M. A. P.; NUNES, J. A. R.; ABREU, A. F. B. Estimação dos componentes da variância fenotípica em feijoeiro utilizando o método genealógico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1035-1042, July/Aug. 2007.
- NIENHUS, J.; SINGH, S. P. Combining ability analyses and relationships among yield, yield components and architectural traits in dry bean. **Crop Science**, Madison, v. 26, n. 1, p. 21-27, Jan./Feb. 1986.
- NORTON, J. B. Inheritance of habit in the common beans. **The American Naturalist**. v. 49, n. 585, p. 547-561, 1915.

- PAÑEDA, A.; RODRÍGUEZ-SUÁREZ, C.; CAMPA C.; FERREIRA, J. J.; GIRALDEZ R. Molecular markers linked to the *Wn* gene controlling determinate growth habit in common bean. **Euphytica**, Wageningen, v. 162, n. 1, p. 241-248, 2008.
- PETERNELLI, L. A.; BORÉM, A.; CARNEIRO, J. E. S. Hibridação em Feijão. In: Borém, A (ed.) **Hibridação Artificial de Plantas**. Editora UFV, Viçosa, 2009, p. 514-536.
- RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B.; SANTOS, J. B. dos. Melhoramento de espécies autógamas. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S. de; VALADARES-INGLIS, M. C. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 201-230.
- RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; ZIMMERMANN, M. J. O. **Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro**. Goiânia: UFG, 1993. 271p.
- RAPOSO, F. C.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B. Comparação de métodos de condução de populações segregantes do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 10, p. 1991-1997, out. 2000.
- RASMUSSEN, D. C. An evaluation of ideotype breeding. **Crop Science**, Madison, v. 27, n. 6, p. 1140-1146, Nov./Dec. 1987.
- RASMUSSEN, D. C. Ideotype research and plant breeding. In: GUSTAFSON, J. P. (Ed.). **Gene manipulation in plant breeding: Proceedings of the 16th Stadler Genetics Symposium**. New York: Plenum Press, 1984. p. 95-119.
- RUBIO, G.; LYNCH, J.P. Compensation among root classes in *Phaseolus vulgaris* L. **Plant and Soil**, v.290, p.307-321, 2007.
- SANTOS, J. B.; GAVILANES M. L. Botânica. In: VIEIRA, C.; PAULA JR., T. J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2006. p. 41-65.
- SANTOS, J. B.; VENCOVSKY, R. Controle genético de alguns componentes do porte da planta em feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 9, p. 957-963, set. 1986.
- SINGH, S. P.; MUNOS, C. G.; TERÁN, H. Determinacy of growth habit in common bean, *Phaseolus vulgaris* L. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, New York, v. 39, p. 211-212, 1996.
- SINGH, S. P. Bean genetics. In: SCHOONHOVEN, A. V.; VOYSEST, O. (Ed.) **Common beans: research for crop improvement**. CIAT: Cali, 1991. p. 55-118.
- TAR'AN, B.; MICHAELS, T. E.; PAULS, K. P. Genetic mapping of agronomic traits in common bean. **Crop Science**, Madison, v. 42, n. 2, p. 544-556, Mar./Apr. 2002.
- TEIXEIRA, F. F.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Genetic control of plant architecture in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 22, n. 4, p. 577-582, Dec. 1999.

VIANA, J.M.S.; CRUZ, C.D.; CARDOSO, A.A.; REGAZZI, A.J. Analysis of variance of partial diallel tables. **Genetics and Molecular Biology**, v. 23, n. 1, p. 229-234, 2000.

VIANA, J. M. S.; CRUZ, C.D.; CARDOSO, A.A. Theory and analysis of partial diallel crosses. **Genetics and Molecular Biology**, v. 22, p.591-599, 1999.

VIEIRA, C.; BORÉM, A.; RAMALHO, M. G. P.; CARNEIRO, J. E. S. Melhoramento do feijão. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2005. p. 301-391.

VIEIRA, R. F.; CARNEIRO, J. E. S.; LYNCH, J. P. Root traits of common bean genotypes used in breeding programs for disease resistance. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 6, p. 707-712, jun. 2008.

VILHORDO, B. W.; MIZUSINSKI, O. M. F.; BURIN, M. E.; GANDOLFI, V. H. Morfologia. In: ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. de O. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: POTAFOS, 1996. p.79-99.

WHITE J. W., KORNEGAY J., CASTILLO J. Effects of growth habit on yield of large-seeded bush cultivars of common bean. **Field Crops Research**, v. 29, p. 151-161, 1992.

## **CAPÍTULO 1**

### **HETEROSE E CAPACIDADE DE COMBINAÇÃO DE LINHAGENS DE FEIJÃO VISANDO A SELEÇÃO DE PLANTAS DE PORTE ERETO**

# HETEROSE E CAPACIDADE DE COMBINAÇÃO DE LINHAGENS DE FEIJÃO VISANDO A SELEÇÃO DE PLANTAS DE PORTE ERETO

## 1. Resumo

No melhoramento do feijoeiro a seleção de plantas que associam porte ereto, alta produtividade e grãos com boa aceitação comercial tem sido a preferência dos melhoristas. Assim, este trabalho foi realizado com os objetivos de avaliar o potencial de 14 linhagens de feijão, em um dialelo parcial, visando a obtenção de populações segregantes promissoras que associem alta produtividade, boa arquitetura de planta e grãos tipo carioca, bem como obter informações sobre heterose, capacidade geral e específica de combinação destes genitores quanto a produtividade de grãos e caracteres relacionados à arquitetura da planta. Quatorze linhagens de feijão foram cruzadas em esquema de dialelo parcial, em que o grupo 1 foi composto por oito linhagens de porte ereto e o grupo 2 por seis linhagens de grãos tipo carioca. As plantas  $F_1$ 's dos cruzamentos e os 14 genitores foram avaliados na safra da seca/2008 (plantio em março) para as características nota de arquitetura de planta, diâmetro do hipocótilo, altura média de planta, e produtividade de grãos. Observou-se predominância de efeitos aditivos para nota de arquitetura de planta e diâmetro do hipocótilo, sendo este último identificado como um dos principais indicadores da arquitetura ereta de plantas. Já para produtividade de grãos e altura média de planta houve maior contribuição dos efeitos de dominância, com manifestação de heterose significativa, resultante de desvios de dominância positivos para os genes determinantes da produtividade de grãos e negativos para a altura média de planta. Estes resultados indicam que a seleção de plantas eretas, com maior diâmetro do hipocótilo, poderá ser realizada em gerações precoces, enquanto que para produtividade de grãos e altura média de planta, a seleção deve ser realizada, preferencialmente, em gerações avançadas. A linhagem A525 se destacou-se como potencial genitor para ser utilizado em programas de melhoramento visando a obtenção de linhagens de porte ereto em feijão.

## 2. Abstract

In common bean plant breeding, the selection plants associating erect plant architecture, high yield, and grains with good commercial acceptance has been preferred by breeders. Thus, the objective of this work was to evaluate the potential of 14 bean plant lines, in a partial diallel, aiming to obtain promising segregating populations that associate high yield, good plant architecture and carioca type grains, as

well as to obtain information on heterosis, general and specific combining ability of these parents related to the characters grain yield and plant architecture. Fourteen bean lines were crossed under a partial diallel system, in which group 1 was composed by eight erect plant lines and group 2 by six carioca type bean lines. The F<sub>1</sub>'s plants from the crosses and the 14 parents were evaluated during spring/2008 (March planting) for the characteristics plant architecture grade, diameter of the hypocotyl, plot mean height, and grain yield. Predominance of additive effects was observed for plant architecture grade and diameter of the hypocotyl, with the latter being identified as one of the main indicators of erect plant architecture. As for grain yield and plot mean height, there was a greater contribution of the effects of dominance, with manifestation of significant heterosis resulting from positive dominance deviations for the genes determining grain yield and negative for plot mean height. These results indicate that the selection of erect plants presenting a larger hypocotyl diameter can be carried out in early generations, while for grain yield and plot mean height, such selection must be carried out, preferably, in advanced generations. Line A525 presented an outstanding role as a potential parent to be used in breeding programs aiming to obtain improved architecture lines in bean.

### **3. Introdução**

No melhoramento do feijoeiro a seleção de plantas com arquitetura adequada, que permitem a obtenção de linhagens de porte ereto, tem sido a preferência dos melhoristas (Kelly & Adams, 1987; Collicchio et al., 1997; Menezes Júnior et al., 2008; Silva et al., 2009). Este tipo de planta facilita os tratos culturais, possibilita a colheita mecanizada e, suas vagens não tocam o solo úmido, na maturação, garantindo grãos de melhor qualidade. Além disso, quando a colheita coincide com períodos prolongados de chuva, é possível retardá-la com menor prejuízo. Plantas com este fenótipo também podem reduzir a incidência de algumas doenças, como o mofo-branco, pois permitem melhor circulação de ar, promovendo condições menos favoráveis ao patógeno.

Além de porte ereto das plantas outros caracteres agrônômicos são levados em consideração durante o processo de melhoramento. Assim, a hibridação seguida de seleção é a principal estratégia utilizada, pois os fenótipos de interesse, geralmente, estão distribuídos em diferentes genitores. Quando se utiliza a hibridação a escolha de genitores que se complementem é fundamental. A técnica de cruzamentos dialélicos auxilia na escolha de potenciais genitores, 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).

A análise de cruzamentos dialélicos é um método comumente utilizado no estudo de caracteres quantitativos. Sua utilização tem origem a partir do desenvolvimento dos conceitos de capacidade geral e específica de combinação, estabelecidos por Sprague & Tatum (1942). A capacidade geral de combinação (CGC) refere-se ao comportamento médio de cada genitor em cruzamentos com as demais e está associada aos efeitos genéticos aditivos e à frequência dos alelos favoráveis que o genitor possui. O efeito da capacidade específica de combinação (CEC) é interpretado como o desvio do comportamento do híbrido em relação ao que seria esperado com base na CGC de seus genitores, fornecendo informações sobre os efeitos não-aditivos (dominância e epistasia) (Cruz et al., 2004; Paterniani et al., 2008). Desta forma, estas estimativas auxiliam a inferir sobre o potencial dos genitores para a obtenção de populações segregantes promissoras e se a seleção deverá ser retardada em função dos desvios de dominância e interações epistáticas de natureza não herdáveis.

O uso de cruzamentos dialélicos muitas vezes é limitado em virtude do grande número de cruzamentos necessários para avaliar determinado grupo de genitores. Além disso, nem sempre existe interesse na avaliação de todas as possíveis combinações de um dialelo completo, principalmente diante da dificuldade de obtenção de número suficiente de sementes híbridas, em espécies como o feijoeiro. Assim, a utilização de dialelos parciais é uma boa alternativa. Neste esquema são avaliadas as gerações  $F_1$ 's de dois grupos de genitores, permitindo determinar o controle genético dos caracteres de interesse e prever o potencial das populações segregantes oriundas das plantas  $F_1$ 's avaliadas. Ademais, a avaliação simultânea de  $F_1$ 's e seus genitores possibilita estimar tanto a capacidade combinatória quanto o efeito heterótico manifestado nos híbridos. Nestes estudos utilizam-se os modelos de Geraldi & Miranda Filho (1988) e Miranda Filho & Geraldi (1984), adaptados dos modelos de Griffing (1956) e Gardner & Eberhart (1966), respectivamente, (Cruz et al., 2004).

Nesse contexto, o presente trabalho foi realizado com os objetivos de identificar populações segregantes de feijão promissoras que associem alta produtividade, boa arquitetura de planta e grãos tipo carioca, bem como obter informações sobre heterose, capacidade geral e específica de combinação e verificar a associação entre caracteres relacionados à arquitetura da planta.

#### 4. Material e métodos

Quatorze linhagens de feijão foram cruzadas em um esquema de dialelo parcial (Tabela 1). Os genitores foram divididos em dois grupos contrastantes em relação à arquitetura da planta, produtividade e tipo de grãos. O primeiro grupo foi composto por oito linhagens, sendo que três são de grãos pretos e de porte ereto (BRS Valente, BRS Supremo e IPR Uirapuru), três de grãos tipo carioca e também de porte ereto (BRS Horizonte, CNFC 9466 e A805), mas que deixam a desejar quanto à produtividade e tipo de grãos e duas linhagens de grãos tipo mulatinho e de porte ereto (A170 e A525). O grupo dois foi composto por seis linhagens de grãos tipo carioca, sendo três provenientes de cruzamentos com a isolinha Rudá-R, fonte de diferentes genes de resistência a antracnose, mancha angular e ferrugem (Ragagnin et al., 2009) (UTF 0013 x Rudá-R, GEN 12-2 x Rudá-R e CNFC 9437 x Rudá-R), as quais foram aqui denominadas de L1, L2, L3, e as linhagens VC6, BRS MG Majestoso e Madrepérola. As linhagens do grupo dois apresentam bom desempenho produtivo e bom aspecto comercial dos grãos, porém deixam a desejar quanto a arquitetura da planta (Tabela 1).

**Tabela 1.** Procedência, tipo de grão, tipo de planta e porte de 14 linhagens de feijão utilizadas nos cruzamentos dialélicos

<b>Genitor<sup>1/</sup></b>	<b>Procedência</b>	<b>Tipo de grão</b>	<b>Tipo de planta</b>	<b>Porte</b>
BRS Valente	Embrapa	preto	II	Ereto
BRS Supremo	Embrapa	preto	II	Ereto
IPR Uirapuru	IAPAR	preto	II	Ereto
BRS Horizonte	Embrapa	carioca	II	Ereto
CNFC 9466	Embrapa	carioca	II	Ereto
A805	CIAT	carioca	II	Ereto
A170	CIAT	mulatinho	II	Ereto
A525	CIAT	mulatinho	II	Ereto
VC6	UFV	carioca	II/III	Semi-prostrado
BRS MG Majestoso	Convênio <sup>2/</sup>	carioca	II/III	Semi-prostrado
Madrepérola	UFV	carioca	III	Prostrado
L1	UFV	carioca	II/III	Semi-prostrado
L2	UFV	carioca	III	Prostrado
L3	UFV	carioca	III	Prostrado

<sup>1/</sup>Os oito primeiros genitores constituíram o grupo 1 e os demais o grupo 2 para os cruzamentos dialélicos. <sup>2/</sup>convênio UFLA/UFV/Epamig/Embrapa

Os cruzamentos foram realizados em casa de vegetação, pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e foram realizados segundo o procedimento sem emasculação, conforme descrito por Peternelli et al. (2009).

As sementes  $F_1$ 's foram semeadas no campo juntamente com os genitores, em um experimento constituído por 62 tratamentos (48 híbridos + 14 genitores). O experimento foi conduzido na safra da seca/2008, semeadura em março, no Campo Experimental de Coimbra, em Coimbra-MG, pertencente ao Departamento de Fitotecnia da UFV, situado a 690 metros de altitude,  $20^{\circ}45'S$  de latitude e  $42^{\circ}51'W$  de longitude. Os tratos culturais foram os recomendados para a cultura do feijoeiro na região. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados com três repetições. As parcelas foram constituídas de três linhas de 1,4 m, sendo a densidade de plantio de 12 sementes por metro e o espaçamento entre linhas de 0,50 m.

No campo foram avaliadas a altura média de planta (AMP), em centímetros, e a arquitetura da planta (ARQ), por meio de uma escala de notas de 1 a 5, descrita por Collicchio et al. (1997), em que nota 1 refere-se à planta do tipo II, ereta, com uma haste e com inserção alta das primeiras vagens; nota 2, à planta do tipo II, ereta e com algumas ramificações; nota 3, à planta do tipo II ou III, ereta, com muitas ramificações e tendência a prostrar-se; nota 4, à planta do tipo III, semi-ereta e medianamente prostrada, e nota 5, à planta do tipo III, com entrenós longos e muito prostrada.

Após a colheita, foram avaliadas a produtividade de grãos, em kg/ha, e algumas características relacionadas com a arquitetura de planta: diâmetro do hipocótilo (DH), em centímetros, altura de inserção da primeira vagem (AIPV), em centímetros, o número de vagens total (VT), o número de vagens nos ramos (VR) e o número de ramos (NR). Essas características foram mensuradas em dez plantas retiradas da linha central de cada parcela, sendo a análise realizada com as médias.

As características DH, AIPV, VT, VR, NR e AMP foram correlacionadas com a nota de arquitetura de planta (ARQ) para verificar a possibilidade de utilizá-las na seleção de plantas com arquitetura mais ereta.

Os dados foram submetidos à análise de variância. As médias dos genitores e das plantas  $F_1$ 's foram analisadas de acordo com o modelo de dialelo parcial proposto por Geraldi e Miranda Filho (1988) e Miranda Filho e Geraldi (1984), adaptados dos modelos propostos por Griffing (1956) e Gardner e Eberhart (1966), respectivamente. As análises estatísticas foram realizadas utilizando os recursos computacionais do programa GENES (Cruz, 2006).

## 5. Resultados e discussão

### 5.1. Correlações entre os caracteres relacionados à arquitetura da planta

As características diâmetro do hipocótilo (DH) e altura média de planta (AMP) foram as mais correlacionadas com a nota de arquitetura de planta (ARQ) (Tabela 2), indicando que estas características são promissoras para auxiliar na seleção de plantas mais eretas. As características altura de inserção da primeira vagem, número de vagens total, número de vagens nos ramos e número de ramos apresentaram baixa correlação com nota de arquitetura da planta. Acquaah et al (1991) identificaram além do diâmetro do hipocótilo a altura da planta como principais indicadores efetivos da arquitetura de planta do feijoeiro.

**Tabela 2.** Estimativas de correlações genótípicas entre nota de arquitetura de planta (ARQ), altura média de planta (AMP), diâmetro do hipocótilo (DH), altura de inserção da primeira vagem (AIPV), número de vagens totais (VT), número de vagens nos ramos (VR), número de ramos (NR) e produtividade de grãos (PROD), no feijoeiro

	ARQ	AMP	DH	AIPV	VT	VR	NR	PROD
ARQ	-	-0,791 <sup>+</sup>	-0,799 <sup>+</sup>	0,185	0,092	0,578	0,387	0,452 <sup>+</sup>
AMP		-	0,783 <sup>+</sup>	-0,157	0,213	-0,285	-0,487 <sup>+</sup>	-0,639 <sup>+</sup>
DH			-	0,229	0,422	-0,307 <sup>+</sup>	-0,414 <sup>+</sup>	-0,164
AIPV				-	0,395 <sup>+</sup>	-0,036	-0,321 <sup>+</sup>	0,408
VT					-	0,346	-0,192	0,091
VR						-	0,647	0,165
NR							-	0,279
PROD								-

<sup>+</sup> significativo a 5 % pelo método de “bootstrap” com 5000 simulações.

### 5.2. Capacidade geral e específica de combinação

A análise de variância das características nota de arquitetura de planta, diâmetro do hipocótilo, altura média de planta e produtividade de grãos indicou a existência de variabilidade entre as 14 linhagens, observada pela significância do efeito de tratamentos ( $P < 0,01$ ) (Tabela 3).

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância para nota de arquitetura da planta (ARQ), diâmetro do hipocótilo (DH), altura média de planta (AMP) e produtividade de grãos (PROD), no feijoeiro.

FV	GL	QM			
		ARQ	DH	AMP	PROD
Tratamentos	61	0,77**	0,008**	123,78**	539398,92**
Resíduo	122	0,16	0,001	15,52	100898,58
CV(%)		16,79	5,34	9,73	9,05
Média		2,42	0,58	40,51	3509,87

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F.

Comparando as médias dos dois grupos de genitores (Tabela 4), verificou-se que os genitores do grupo 1 apresentaram maior diâmetro do hipocótilo, maior altura média de planta e menor nota de arquitetura de planta. Já os genitores do grupo 2 foram, em geral, mais produtivos. Estes resultados eram esperados, pois os genitores do grupo 1 foram selecionados por apresentarem fenótipos favoráveis de arquitetura de planta e os do grupo 2 por apresentarem grãos tipo carioca e boa produtividade.

**Tabela 4.** Média de nota de arquitetura da planta (ARQ), diâmetro do hipocótilo (DH), altura média de planta (AMP) e produtividade de grãos (PROD), obtidos na avaliação dos 14 genitores e 48 híbridos de feijão

	Genótipos	ARQ	DH (cm)	AMP (cm)	PROD (kg/ha)
<b>Grupo 1</b>	BRS Valente	2,500	0,584	42	3444
	BRS Supremo	1,667	0,646	49	3620
	IPR Uirapuru	2,000	0,689	51	3380
	BRS Horizonte	2,000	0,518	41	2724
	CNFC9466	2,000	0,604	46	3220
	A805	1,500	0,648	50	2539
	A170	2,000	0,594	53	3276
	A525	1,000	0,752	71	2007
	<b>Média G<sub>1</sub></b>	<b>1,833</b>	<b>0,630</b>	<b>50</b>	<b>3026</b>
<b>Grupo 2</b>	VC6	1,833	0,623	46	2741
	BRS MG Majestoso	3,167	0,531	39	3304
	Madrepérola	4,167	0,423	28	3344
	L1	2,667	0,589	38	3322
	L2	3,500	0,516	38	2983
	L3	3,000	0,553	36	3115
	<b>Média G<sub>2</sub></b>	<b>3,056</b>	<b>0,539</b>	<b>38</b>	<b>3135</b>
	<b>Média dos híbridos</b>	<b>2,434</b>	<b>0,580</b>	<b>39</b>	<b>3637</b>
	<b>Média dos genitores</b>	<b>2,445</b>	<b>0,585</b>	<b>44</b>	<b>3081</b>

Contrastando a média dos híbridos com a média dos genitores (Tabela 4), observa-se que os híbridos foram mais produtivos que os genitores dos dois grupos. Para as características diâmetro do hipocótilo e nota de arquitetura de planta, a média dos híbridos foi próxima à média dos genitores; para altura média de planta, a média dos híbridos foi inferior à média dos genitores. Estes resultados indicam a existência de heterose para produtividade de grãos e altura média de planta, resultante de desvios de dominância positivos para os genes determinantes da produtividade de grãos e negativos para a altura média de planta.

A fonte de variação tratamentos foi desdobrada em efeitos de capacidade geral e específica de combinação e no contraste entre as médias dos dois grupos de genitores ( $G_1$  vs  $G_2$ ). Detectou-se diferença significativa ( $P < 0,05$ ) entre as médias dos grupos ( $G_1$  vs  $G_2$ ) e entre a CGC do grupo 1 ( $CGC_1$ ) para todos os caracteres. Já para a CGC do grupo 2 ( $CGC_2$ ) houve diferença significativa ( $P < 0,01$ ) para nota de arquitetura de planta, diâmetro do hipocótilo e altura média de planta. Para CEC observou-se diferença significativa ( $P < 0,01$ ) para altura média de planta e produtividade de grãos (Tabela 5).

**Tabela 5.** Resumo da análise dialélica para nota de arquitetura da planta (ARQ), diâmetro do hipocótilo (DH), altura média de planta (AMP) e produtividade de grãos (PROD) dos genitores dos grupos 1 e 2 ( $G_1$  e  $G_2$ ) e de suas combinações híbridas

FV	GL	ARQ		DH		AMP		PROD	
		SQ	QM	SQ	QM	SQ	QM	SQ	QM
Tratamentos	61	46,80	0,77**	0,482	0,008**	7550,37	123,78**	32903337,81	539398,98**
$CGC_1$	7	11,42	1,63**	0,202	0,029**	1272,70	181,81**	10031975,60	1433139,37**
$CGC_2$	5	11,55	2,31**	0,132	0,026**	1528,19	305,64**	981237,89	196247,58 <sup>ns</sup>
CEC	48	8,27	0,17 <sup>ns</sup>	0,061	0,001 <sup>ns</sup>	2738,26	57,05**	21326598,71	444304,14**
$G_1$ vs $G_2$	1	15,56	15,56**	0,087	0,087**	2011,21	2011,21**	563525,60	563525,60*
Resíduo	122	20,09	0,16	0,118	0,001	1893,18	15,52	12309626,66	100898,58

\*\* , \* Significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste de F.

<sup>ns</sup> não significativo

Os resultados evidenciaram maior importância da CGC em relação à CEC para nota de arquitetura de planta e diâmetro do hipocótilo, com predominância dos efeitos aditivos, expressa pela superioridade da soma de quadrados da CGC. O contrário pode ser observado para altura média de planta e produtividade de grãos, com maior contribuição dos efeitos de dominância na determinação destes caracteres. Neste caso, observou-se superioridade da soma de quadrados da CEC em relação à soma de quadrados da CGC (Tabela 5). A predominância de efeitos não-aditivos associados à

produtividade de grãos e a altura da planta em feijão também foi verificada por Rodrigues et al. (1998) e por Gonçalves Vidigal et al. (2008). Também estudando a CGC e CEC em populações  $F_2$ , derivadas de um dialelo completo, Machado et al. (2002) observaram predominância da CEC para produtividade de grãos. Contudo, há relatos de que a ação gênica aditiva para produtividade de grãos em feijão e seus componentes primários são predominantes (Santos et al., 1985; Kurek et al., 2001). Resultados semelhantes foram encontrados em outras espécies como milho doce e arroz, em que os efeitos genéticos aditivos prevaleceram sobre os de dominância para caracteres relacionados à produtividade (Teixeira et al., 2001; Torres & Geraldi, 2007).

Predominância de efeitos de dominância para produtividade de grãos, resultando em heterobeltiose, pode ser devida à seleção divergente realizada para os caracteres produtividade de grãos e arquitetura ereta de plantas, utilizada no processo de obtenção das linhagens constituintes dos dois grupos de genitores utilizados neste trabalho. Assim, as linhagens do grupo um foram obtidas com a seleção priorizando plantas com melhor arquitetura, o que, possivelmente, favoreceu a fixação de alelos, para produtividade de grãos, diferentes daqueles fixados nos genitores do grupo dois, em que a seleção priorizou plantas mais produtivas.

A significância do contraste entre média de grupos ( $G_1$  vs  $G_2$ ) para todos os caracteres em análise (Tabela 5), ratifica que os dois grupos de genitores diferem entre si, uma vez que as linhagens do grupo 1 se destacam pelo porte ereto e as do grupo 2 pelo potencial de produção.

Vale ressaltar que as estimativas de CGC dependem da diferença genética dos genitores e do efeito médio de substituição alélica no outro grupo e estão associadas aos efeitos aditivos. A CEC, por sua vez, é função dos efeitos de dominância e do produto das diferenças de frequências alélicas dos genitores de grupos opostos, fazendo com que as mesmas estejam relacionadas aos efeitos de dominância e epistáticos (Hallauer & Miranda Filho, 1988; Vencovsky, 1987).

A linhagem A525, do grupo 1, e a linhagem VC6, do grupo 2, destacaram-se quanto às estimativas de CGC para diâmetro do hipocótilo, altura média de planta e nota de arquitetura de planta (Tabela 6). Para esta última variável, destaca-se o menor valor, uma vez que notas menores indicam plantas com melhor arquitetura. Já para produtividade de grãos, a linhagem do grupo 1, A170, e a linhagem Madrepérola, do grupo 2, destacaram-se quanto à CGC. Estes resultados indicam que estas linhagens (A525, VC6, A170 e Madrepérola) possuem maior frequência de alelos favoráveis para

estas características, lembrando que as frequências alélicas dos genitores de um grupo são relativas aos genitores do outro grupo.

**Tabela 6.** Estimativas dos efeitos da CGC entre genitores dos grupos 1 (CGC<sub>1</sub>) e 2 (CGC<sub>2</sub>) para diâmetro do hipocótilo (DH), nota de arquitetura de planta (ARQ), altura média de planta (AMP) e produtividade de grãos (PROD), no feijoeiro

Genitores (grupo 1)	CGC <sub>1</sub>			
	ARQ	DH	AMP	PROD
BRS Valente	0,42	-0,022	-2,21	202,50
BRS Supremo	-0,14	0,009	1,35	37,87
IPR Uirapuru	0,14	0,035	0,52	161,02
BRS Horizonte	0,02	-0,051	-1,75	-182,32
CNFC 9466	0,14	-0,013	-2,35	108,43
A805	-0,23	-0,003	-0,51	-303,98
A170	-0,06	-0,001	-0,21	241,57
A525	-0,29	0,047	5,15	-265,09
Genitores (grupo 2)	CGC <sub>2</sub>			
VC6	-0,35	0,028	3,62	-85,49
BRS MG Majestoso	0,01	-0,006	1,00	-79,32
Madrepérola	0,34	-0,045	-4,88	81,33
L1	-0,15	0,024	1,09	-28,24
L2	0,23	-0,013	-1,63	56,94
L3	-0,08	0,012	0,81	54,78

De acordo com as estimativas de CEC para produtividade de grãos, os híbridos que mais se destacaram foram resultantes das combinações A170 x VC6 e A525 x BRS MG Majestoso (Tabela 7). Para fins de melhoramento, combinações híbridas com elevadas estimativas de CEC e que envolvam pelo menos um genitor com alta CGC são de interesse. Portanto, o cruzamento entre A170 x VC6 tende a ser mais promissor pela elevada CGC apresentada pelo genitor A170.

**Tabela 7.** Estimativas dos efeitos da CEC entre genitores dos grupos 1 e 2 para nota de arquitetura de planta (ARQ), diâmetro do hipocótilo (DH), altura média de planta (AMP) e produtividade de grãos (PROD), no feijoeiro

<b>Cruzamento</b>	<b>ARQ</b>	<b>DH</b>	<b>AMP</b>	<b>PROD</b>
BRS Valente x VC6	0,162	-0,005	-2,018	-113,971
BRS Valente x BRS MG Majestoso	-0,033	-0,011	-3,407	157,634
BRS Valente x Madrepérola	-0,200	0,016	0,148	328,467
BRS Valente x L1	0,120	-0,015	0,176	-6,410
BRS Valente x L2	0,079	0,001	4,898	41,739
BRS Valente x L3	0,217	0,014	1,788	308,714
BRS Supremo x VC6	0,062	-0,017	-0,585	-19,712
BRS Supremo x BRS MG Majestoso	-0,300	0,021	8,693	-486,996
BRS Supremo x Madrepérola	0,034	-0,012	-1,085	-25,422
BRS Supremo x L1	-0,147	0,007	-1,391	-76,965
BRS Supremo x L2	0,311	-0,004	-3,002	213,775
BRS Supremo x L3	-0,216	0,001	-1,446	101,122
IPR Uirapuru x VC6	0,278	-0,029	1,582	140,473
IPR Uirapuru x BRS MG Majestoso	0,084	0,012	-2,474	-149,033
IPR Uirapuru x Madrepérola	-0,249	-0,007	-0,251	144,022
IPR Uirapuru x L1	0,070	0,014	-1,223	35,072
IPR Uirapuru x L2	-0,138	0,003	-2,168	160,998
IPR Uirapuru x L3	0,167	0,021	-1,613	348,344
BRS Horizonte x VC6	-0,105	-0,031	5,515	-110,638
BRS Horizonte x BRS MG Majestoso	0,034	0,014	3,126	64,671
BRS Horizonte x Madrepérola	0,034	0,025	1,348	398,468
BRS Horizonte x L1	0,020	0,014	-4,291	219,146
BRS Horizonte x L2	0,145	0,025	-0,902	152,480
BRS Horizonte x L3	-0,383	-0,035	1,321	-106,471
CNFC9466 x VC6	-0,222	-0,001	-4,885	367,140
CNFC9466 x BRS MG Majestoso	0,250	0,004	-1,274	151,708
CNFC9466 x Madrepérola	-0,083	0,009	-1,385	389,208
CNFC9466 x L1	0,403	-0,004	0,309	-29,002
CNFC9466 x L2	-0,138	-0,030	0,698	-95,669
CNFC9466 x L3	0,001	0,014	0,254	4,640
A805 x VC6	0,312	-0,020	-1,718	135,103
A805 x BRS MG Majestoso	-0,383	-0,010	-3,774	158,560
A805 x Madrepérola	-0,217	-0,018	-1,885	-9,496
A805 x L1	-0,063	0,019	1,476	-122,150
A805 x L2	0,229	-0,031	-2,135	242,665
A805 x L3	-0,133	0,003	0,421	96,677
A170 x VC6	-0,022	0,046	-0,018	796,955
A170 x BRS MG Majestoso	0,117	-0,009	-3,407	-318,477
A170 x Madrepérola	-0,216	0,031	-3,518	-1,347
A170 x L1	-0,063	-0,021	-0,490	108,220
A170 x L2	-0,438	0,015	-3,768	217,480
A170 x L3	0,033	-0,001	-1,879	406,677
A525 x VC6	0,545	-0,008	-9,385	240,659
A525 x BRS MG Majestoso	0,018	-0,036	-4,774	756,708
A525 x Madrepérola	0,017	0,003	-2,885	-328,015
A525 x L1	-0,164	-0,026	-0,191	374,146
A525 x L2	-0,039	0,006	-8,802	587,109
A525 x L3	0,101	-0,004	-0,913	89,270

Para nota de arquitetura de planta, as estimativas de CEC com valores negativos e elevados, os quais indicam plantas mais eretas, foram observadas nos cruzamentos A170 x L2, A805 x BRS MG Majestoso e BRS Horizonte x L3, com destaque para o cruzamento A805 x BRS MG Majestoso, em que a linhagem A805 apresentou alta CGC. Já para altura média de planta, as combinações de maior CEC foram BRS Supremo x BRS MG Majestoso, seguido por BRS Horizonte x VC6 e BRS Valente x L2, sendo que o genitor VC6 apresentou valor de CGC elevado. Para diâmetro do hipocótilo a estimativa mais elevada da CEC foi para A170 x VC6, sendo que a linhagem VC6 apresentou alta CGC (Tabela 7).

As linhagens A170, A805 e A525 apresentaram altos valores de CEC, indicando maior diversidade destas linhagens em relação às outras do outro grupo de genitores. É interessante salientar que estas linhagens são provenientes de introduções do CIAT, salientado a importância da utilização de linhagens de diferentes origens nos programas de melhoramento.

Considerando a produtividade de grãos e arquitetura da planta, simultaneamente, as populações provenientes dos cruzamentos entre CNFC 9466 x VC6, BRS Valente x Madrepérola e A525 x L1 são mais promissoras para extração de linhagens que reúnam tais fenótipos. Cabe ressaltar que esses cruzamentos não foram os mais indicados considerando cada característica individualmente. Portanto, podem não estar presentes, nestas populações, alelos que estão em populações provenientes de cruzamentos indicados para produtividade, como A170 x VC6, e A805 x BRS MG Majestoso, para arquitetura de plantas. Assim, uma alternativa para maximizar o potencial das populações segregantes, como fonte de linhagens promissoras visando a produtividade e arquitetura, simultaneamente, seria o cruzamento duplo entre os  $F_1$ 's dos cruzamentos A170 x VC6 e A805 x BRS MG Majestoso.

### **5.3. Decomposição do efeito da heterose**

O desdobramento do efeito da CEC em heterose média, heterose varietal (atribuída aos vários genótipos dentro de cada grupo), e heterose específica justifica-se apenas quando a CEC apresenta efeito significativo. Assim, para altura média de planta e produtividade de grãos a decomposição da heterose é apresentada na Tabela 8.

Para altura média de planta houve efeito significativo ( $P < 0,01$ ) para heterose média, heterose varietal do grupo 1 ( $G_1$ ) e heterose específica ( $P < 0,05$ ), enquanto para produtividade de grãos foram observados efeitos significativos para todos os desdobramentos da heterose ( $P < 0,05$ ). Destes resultados pode-se inferir que, para

altura média de parcela, apenas as linhagens do grupo 1 apresentam efeitos heteróticos diferenciados e, para produtividade de grãos, esta conclusão é válida tanto para o grupo 1 quanto para o grupo 2. As linhagens com maior efeito de heterose varietal são mais divergentes ou seus alelos apresentam maiores desvios de dominância, comparadas àquelas de menor efeito heterótico. Genitores com maior diversidade são requeridos em cruzamentos visando obtenção de segregação transgressiva, indicando que as populações segregantes irão apresentar maior potencial para extração de linhagens superiores.

**Tabela 8.** Resumo das análises de variância, adaptada a dialelos parciais, para nota de arquitetura da planta (ARQ), diâmetro do hipocótilo (DH), altura média de planta (AMP) e produtividade de grãos (PROD) dos genitores dos grupos 1 e 2 (G<sub>1</sub> e G<sub>2</sub>) e desdobramento da heterose de suas combinações híbridas

FV	GL	QM			
		ARQ	DH	AMP	PROD
Tratamentos	61	0,77 <sup>**</sup>	0,008 <sup>**</sup>	123,78 <sup>**</sup>	539398,98 <sup>**</sup>
CGC <sub>1</sub>	7	1,63 <sup>**</sup>	0,029 <sup>**</sup>	181,81 <sup>**</sup>	1433139,37 <sup>**</sup>
CGC <sub>2</sub>	5	2,31 <sup>**</sup>	0,026 <sup>**</sup>	305,64 <sup>**</sup>	196247,58 <sup>ns</sup>
G <sub>1</sub> vs G <sub>2</sub>	1	15,56 <sup>**</sup>	0,087 <sup>**</sup>	2011,21 <sup>**</sup>	563525,60 <sup>*</sup>
Heterose (CEC)	48	0,17 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>	57,05 <sup>**</sup>	444304,14 <sup>**</sup>
Heterose média	1	-	-	736,81 <sup>**</sup>	9917738,92 <sup>**</sup>
Heterose varietal (G <sub>1</sub> )	7	-	-	133,29 <sup>**</sup>	415808,08 <sup>**</sup>
Heterose varietal (G <sub>2</sub> )	5	-	-	23,81 <sup>ns</sup>	275347,76 <sup>*</sup>
Heterose específica	35	-	-	27,13 <sup>*</sup>	203470,41 <sup>**</sup>
Resíduo	122	0,16	0,001	15,52	100898,58

<sup>\*\*</sup>, <sup>\*</sup> Significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste de F.

<sup>ns</sup> não significativo

A significância do efeito de heterose específica para produtividade de grãos e altura média de planta evidencia que os genitores apresentam genes não alélicos com interação epistática. Cabe ressaltar que as interações dos tipos dominante x dominante, dominante x aditiva e aditiva x dominante não são herdáveis, sendo, portanto, aproveitadas apenas em híbridos.

Os valores de heterose nos cruzamentos variaram em magnitude e sinal (Tabela 9). No grupo 1, para produtividade de grãos, destaca-se o cruzamento A525 x L2. Este cruzamento apresentou heterose de 1397 kg/ha, superando a média dos pais em 56%. As combinações A170 x VC6 (48,5%) e A525 x BRS MG Majestoso (47,8%) também apresentaram alta heterose para produtividade de grãos.

**Tabela 9.** Valores da heterose (h) em relação à média dos genitores para produtividade de grãos (PROD) e altura média de planta (AMP), no feijoeiro

Cruzamento	PROD		AMP	
	h (kg/ha)	%	h (cm)	%
BRS Valente x VC6	424	13.71	-4.50	-10.19
BRS Valente x BRS MG Majestoso	420	12.46	-4.83	-11.93
BRS Valente x Madrepérola	731	21.55	-1.83	-5.21
BRS Valente x L1	298	8.81	-0.83	-2.08
BRS Valente x L2	601	18.70	1.50	3.76
BRS Valente x L3	800	24.39	1.67	4.27
BRS Supremo x VC6	266	8.36	-3.17	-6.62
BRS Supremo x BRS MG Majestoso	-477	-13.77	7.17	16.23
BRS Supremo x Madrepérola	125	3.59	-3.17	-8.15
BRS Supremo x L1	-25	-0.72	-2.50	-5.70
BRS Supremo x L2	520	15.76	-6.50	-14.94
BRS Supremo x L3	340	10.09	-1.67	-3.91
IPR Uirapuru x VC6	669	21.88	-2.83	-5.80
IPR Uirapuru x BRS MG Majestoso	105	3.13	-5.83	-12.92
IPR Uirapuru x Madrepérola	538	16.00	-4.17	-10.46
IPR Uirapuru x L1	331	9.87	-4.17	-9.29
IPR Uirapuru x L2	711	22.35	-7.50	-16.85
IPR Uirapuru x L3	831	25.58	-3.67	-8.40
BRS Horizonte x VC6	403	14.74	4.17	9.58
BRS Horizonte x BRS MG Majestoso	303	10.05	2.83	7.11
BRS Horizonte x Madrepérola	777	25.60	0.50	1.45
BRS Horizonte x L1	499	16.51	-4.17	-10.55
BRS Horizonte x L2	687	24.08	-3.17	-8.09
BRS Horizonte x L3	360	12.34	2.33	6.09
CNFC9466 x VC6	923	30.97	-9.33	-20.29
CNFC9466 x BRS MG Majestoso	432	13.26	-4.67	-11.02
CNFC9466 x Madrepérola	810	24.68	-5.33	-14.41
CNFC9466 x L1	294	8.97	-2.67	-6.35
CNFC9466 x L2	481	15.52	-4.67	-11.20
CNFC9466 x L3	514	16.22	-1.83	-4.49
A805 x VC6	619	23.47	-6.50	-13.49
A805 x BRS MG Majestoso	368	12.58	-7.50	-16.85
A805 x Madrepérola	340	11.55	-6.17	-15.74
A805 x L1	129	4.39	-1.83	-4.15
A805 x L2	748	27.10	-7.83	-17.87
A805 x L3	534	18.90	-2.00	-4.65
A170 x VC6	1458	48.48	-6.17	-12.37
A170 x BRS MG Majestoso	68	2.06	-8.50	-18.41
A170 x Madrepérola	525	15.86	-9.17	-22.45
A170 x L1	536	16.25	-5.17	-11.27
A170 x L2	900	28.76	-10.83	-23.81
A170 x L3	1021	31.96	-5.67	-12.69
A525 x VC6	1030	43.37	-19.00	-32.39
A525 x BRS MG Majestoso	1270	47.84	-13.33	-24.24
A525 x Madrepérola	326	12.18	-12.00	-24.16
A525 x L1	930	34.89	-8.33	-15.24
A525 x L2	1397	55.99	-19.33	-35.58
A525 x L3	831	32.47	-8.17	-15.27

As combinações com maior valor de heterose para altura média de planta foram BRS Supremo x BRS MG Majestoso e BRS Horizonte x VC6, com valor da heterose de 7,17 cm (16,2%) e 4,17 cm (9,6%), respectivamente, (Tabela 9). Entretanto, é oportuno ressaltar que nem sempre os híbridos com maior heterose apresentaram médias superiores. Isto se deve ao fato de que a superioridade de um híbrido depende tanto da quantidade de locos em heterozigose como da média dos genitores.

As estimativas dos efeitos de variedades ( $v_i$  e  $v_j$ ) dos genitores de cada grupo são apresentadas na Tabela 10. O efeito *per se* de um genitor, em particular, é indicativo de sua superioridade ou inferioridade em termos da frequência de alelos favoráveis. No caso da produtividade de grãos, a linhagem BRS Supremo (grupo 1) e Madrepérola (grupo 2) apresentaram os maiores efeitos, indicando maior concentração de alelos favoráveis para esta característica. Para nota de arquitetura de planta, diâmetro do hipocótilo e altura média de planta a linhagem do grupo 1, A525, e a linhagem do grupo 2, VC6, apresentaram maior frequência de alelos favoráveis. Vale lembrar que para nota de arquitetura da planta os efeitos negativos indicam que a linhagem possui maior concentração de alelos favoráveis.

**Tabela 10.** Estimativas dos efeitos de variedades ( $v_i$  e  $v_j$ ) e da heterose varietal ( $h_i$  e  $h_j$ ) associadas aos grupos 1 e 2, respectivamente, referentes aos caracteres nota de arquitetura da planta (ARQ), diâmetro do hipocótilo (DH), altura média de planta (AMP) e produtividade de grãos (PROD), no feijoeiro

Grupo 1	ARQ		DH		AMP		PROD	
	$v_i$	$h_i$	$v_i$	$h_i$	$v_i$	$h_i$	$v_i$	$h_i$
BRS Valente	0,67	0,15	-0,045	0,0019	-8,42	3,33	418,06	-10,88
BRS Supremo	-0,17	-0,10	0,017	0,0004	-1,08	3,16	593,98	-431,87
IPR Uirapuru	0,17	0,09	0,060	0,0086	0,92	0,10	353,24	-26,00
BRS Horizonte	0,17	-0,10	-0,111	0,0078	-9,75	5,22	-302,32	-51,93
CNFC 9466	0,17	0,09	-0,025	-0,0012	-4,75	0,48	193,98	19,06
A805	-0,33	-0,10	0,019	-0,0211	-0,42	-0,51	-487,50	-100,39
A170	0,17	-0,24	-0,035	0,0278	2,92	-2,78	249,54	194,68
A525	-0,83	0,20	0,123	-0,0242	20,58	-8,56	-1018,98	407,33
Grupo 2	$v_j$	$h_j$	$v_j$	$h_j$	$v_j$	$h_j$	$v_j$	$h_j$
VC6	-1,22	0,39	0,084	-0,0215	8,72	-1,12	-394,14	167,36
BRS MG Majestoso	0,11	-0,07	-0,008	-0,0028	1,39	0,47	168,82	-245,60
Madrepérola	1,11	-0,32	-0,116	0,0203	-9,28	-0,37	209,57	-35,19
L1	-0,39	0,07	0,050	-0,0016	0,72	1,09	187,35	-182,87
L2	0,44	0,01	-0,023	-0,0021	0,06	-2,49	-151,54	199,07
L3	-0,06	-0,07	0,014	0,0077	-1,61	2,42	-20,06	97,22

Considerando os efeitos da heterose varietal ( $h_i$  e  $h_j$ ) (Tabela 10), observou-se, para produtividade de grãos, que as linhagens do grupo 1 comportaram-se de maneira

diferenciada, com destaque para a linhagem A525. Já no grupo 2 destacaram-se as linhagens L2 e VC6, indicando maior diversidade relativa dessas linhagens àquelas do outro grupo de linhagens envolvidas no dialelo parcial. Para nota de arquitetura e diâmetro do hipocótilo destacou-se a linhagem A170. Já para altura média de planta, a linhagem BRS Horizonte apresentou maior valor do efeito da heterose varietal associada ao grupo 1 ( $h_i$ ). As linhagens Madrepérola e L3 apresentaram maior estimativa da heterose varietal associada ao grupo 2 ( $h_j$ ), sendo que, a linhagem Madrepérola se destacou para nota de arquitetura da planta e diâmetro do hipocótilo e L3 para altura média de planta.

Em estudos de Gonçalves-Vidigal et al. (2008) foi constatado heterose para produtividade de grãos em feijão e, ainda, destacaram que a hibridação de cultivares pertencentes a grupos comerciais distintos propicia maiores valores de heterose. Resultados semelhantes foram obtidos por Foolad & Bassiri (1983) e Barelli et al. (1998), que também verificaram a manifestação de heterose para produtividade de grãos.

Pelos resultados, nota-se que a produtividade de grãos e os caracteres relacionados à arquitetura de planta do feijoeiro apresentam grande complexidade, dificultando a seleção de plantas eretas e produtivas. Entretanto, a seleção de plantas eretas, com maior diâmetro do hipocótilo, poderá ser realizada em gerações precoces, devido a ação de genes de efeitos aditivos. Já para produtividade de grãos e altura média de planta, a seleção deve ser realizada, preferencialmente, em gerações avançadas, pois houve maior contribuição dos efeitos de dominância na determinação destes caracteres. Na geração  $F_4$  os desvios de dominância são reduzidos em 87,5% (Vencovsky & Barriga, 1992). Assim, é prudente que os bulk's devam ser abertos nesta geração, visando a avaliação de famílias para a obtenção de linhagens de feijão produtivas e de arquitetura ereta.

## 6. Referências bibliográficas

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

BARELLI, M.A.A.; GONÇALVES-VIDIGAL, M.C.; AMARAL JÚNIOR, A.T. do; VIDIGAL FILHO, P.S.; SCAPIM, C.A. Heterose relativa em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Acta Scientiarum**. Agronomy, v.20, p.257-262, 1998.

COLLICCHIO, E.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Associação entre o porte da planta do feijoeiro e o tamanho dos grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 3, p. 297-304, mar. 1997.

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

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético** (volume 1). 3ª Ed. Viçosa: UFV. 2004. 480p.

FOOLAD, M. R.; BASSIRI, A. Estimates of combining ability, reciprocal effects and heterosis for yield and yield components in a common bean diallel cross. **The Journal of Agricultural Science**, Cambridge University, v. 100, p.103-108, 1983.

GARDNER, C. O.; EBERHART, S. A. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. **Biometrics**, Washington, v. 22, p. 439-452, 1966.

GERALDI, I.O.; MIRANDA-FILHO, J.B. Adapted models for the analysis of combining ability of varieties in partial diallel crosses. **Brazilian Journal of Genetics**, Ribeirão Preto, v.11, p.419-430, 1988.

GONCALVES· VIDIGAL, M.C.; SILVÉRIO, L.; ELIAS, H. T.; VIDIGAL FILHO, P. S.; KVITSCHAL, M. V.; RETUCI, V. S.; SILVA, C. R. Combining ability and heterosis in common bean cultivars. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.9, p.1143-1150, set. 2008.

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

HALLAUER, A.R.; MIRANDA FILHO, J.B. de **Quantitative genetics in maize breeding**. Ames: Iowa State University Press, 1988. 468p.

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

KUREK, A. J.; CARVALHO, F. I. F. DE; ASSMANN, I. C.; CRUZ, P. J. Capacidade combinatória como critério de eficiência na seleção de genitores em feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 4, p. 645-651, abr. 2001.

MACHADO, C. F.; SANTOS, J. B.; NUNES, G. H. S.; RAMALHO, M.A.P. Choice of common bean parents based on combining ability estimates. **Genetics and Molecular Biology**, v. 25, p.179-183, 2002.

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

MIRANDA FILHO, J.B.; GERALDI, I.O. An adapted model for the analysis of partial diallel cross. **Brazilian Journal of Genetics**, Ribeirão Preto, v.7, p.677-688, 1984.

PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; GUIMARÃES, P. de S.; LÜDERS, R. R.; GALLO, P. B.; SOUZA, A. P.; LABORDA, P. R.; OLIVEIRA, K. M. Capacidade combinatória,

divergência genética entre linhagens de milho e correlação com heterose. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.3, p.639-648, 2008

PETERNELLI, L. A.; BORÉM, A.; CARNEIRO, J. E. S. Hibridação em Feijão. In: BORÉM, A. (Ed.) **Hibridação Artificial de Plantas**. 2 ed. Viçosa: UFV, 2009. p. 269-294.

RAGAGNIN, V. A.; SOUZA, T. L. P. O.; SANGLARD, D. A.; ARRUDA, K. M. A.; COSTA, M. R.; ALZATE-MARIN, A. L.; CARNEIRO, J. E. S.; MOREIRA, M. A.; BARROS, E. G. Development and agronomic performance of common bean lines simultaneously resistant to anthracnose, angular leaf spot and rust. **Plant Breeding**, v. 128, n. 2, p. 156-163, 2009.

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

RODRIGUES, R.; LEAL, N. R.; PEREIRA, M. G. Análise dialélica de seis características agronômicas em *Phaseolus vulgaris* L. **Bragantia**, Campinas, v. 57, n. 2, p. 241-250, 1998.

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

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

SPRAGUE, G.F. e TATUM, L.A. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. **Journal of American Society of Agronomy**, Madison, v. 34, n. 10, p. 923-932, 1942.

TEIXEIRA, F.F.; SOUZA, I. R. P.; GAMA, E. E. G.; PACHECO, C. A. P.; PARENTONI, S. N.; SANTOS, M. X.; MEIRELLES, W. F.. Avaliação da capacidade de combinação entre Linhagens de milho doce. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 3, p. 483-488, maio/jun., 2001.

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

VENCOSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E., VIÉGAS, G.P. [Eds.]. **Melhoramento e produção do milho**. 2. ed. Campinas : Fundação Cargill, 1987. p. 137-214.

VENCOSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496 p.

## **CAPÍTULO 2**

### **EFEITOS GÊNICOS ENVOLVIDOS NO CONTROLE GENÉTICO DA ARQUITETURA DE PLANTA DO FEJJOEIRO**

# **EFEITOS GÊNICOS ENVOLVIDOS NO CONTROLE GENÉTICO DA ARQUITETURA DE PLANTA DO FEIJOEIRO**

## **1. Resumo**

O conhecimento dos efeitos gênicos envolvidos no controle genético da arquitetura da planta do feijoeiro pode auxiliar os melhoristas na definição da estratégia de melhoramento mais adequada, visando otimizar o ganho com a seleção. Nesse contexto, o presente trabalho foi realizado com os objetivos de obter estimativas dos efeitos gênicos envolvidos no controle genético da arquitetura de planta do feijoeiro, por meio de cruzamentos dialélicos parciais. Quatorze linhagens de feijão foram cruzadas num esquema de dialelo parcial, em que o grupo 1 foi composto por oito linhagens de porte ereto e o grupo 2 por seis linhagens de grãos tipo carioca. As plantas  $F_1$ 's dos cruzamentos e os 14 genitores foram avaliados na safra da seca/2008 (plantio em março) para as características nota de arquitetura de planta, diâmetro do hipocótilo, altura média de planta, e produtividade de grãos. As análises foram realizadas de acordo com o modelo de dialelo parcial proposto por Viana et al. (1999) adaptado do método de Hayman (1954). Constatou-se que os efeitos aditivos foram predominantes no controle genético da nota de arquitetura de planta e do diâmetro do hipocótilo em feijoeiro. Assim, a seleção de plantas mais eretas pode ser praticada em gerações precoces. A estimativa da herdabilidade no sentido amplo foi maior para diâmetro do hipocótilo (0,81) do que para a nota de arquitetura de planta (0,60), evidenciando que a nota de arquitetura da planta é uma característica mais complexa do que o diâmetro do hipocótilo. A característica diâmetro do hipocótilo apresenta potencial para ser utilizada na seleção de plantas mais eretas, seja considerando a seleção entre e dentro de famílias, combinada ou recorrente fenotípica. Isto porque as medidas de diâmetro são realizadas em plantas individuais dentro das parcelas.

## **2. Abstract**

Knowledge of the genic effects involved in the genetic control of plant architecture in the common bean may help breeders define the most adequate breeding strategy, aiming to optimize gain from the selection. Within this context, this work aimed to obtain estimates of the genic effects involved in the genetic control of plant architecture in the common bean by means of partial diallel crosses. Fourteen bean lines were crossed under a partial diallel scheme, in which group 1 was composed by eight erect plant lines and group 2 by six carioca type grain lines. The  $F_1$ 's plants from the

crosses and the 14 parents were evaluated during spring/2008 (March planting) for the characteristics plant architecture score, diameter of the hipocotyl, plot mean height and grain yield. The analyses were carried out according to the partial diallel model proposed by Viana et al. (1999) adapted from the Hayman method (1954). The additive effects were found to predominate in the genetic control of plant architecture score and diameter of the hipocotyl in the common bean. Thus, the selection of more erect plants can be practiced in early generations. Heritability estimate in a wide sense was greater for diameter of the hipocotyl (0.81) than for plant architecture score (0.60), showing that the latter is a more complex characteristic than the former. Diameter of the hipocotyl has the potential to be used in the selection of more erect plants, either by considering selection between and within families, combined or phenotypic recurrent. The reason for this is that the diameter measurements are taken in individual plants inside the plots.

### **3. Introdução**

A cultura do feijoeiro tem deixado de ser apenas de subsistência e passado por grandes mudanças, principalmente quanto ao emprego de tecnologias, tais como a utilização de irrigação e colheita mecanizada. Para atender a demanda de produtores de áreas irrigadas, os melhoristas de feijão vêm se dedicando à seleção de plantas de porte ereto (Silva et al. 2009). As cultivares de porte ereto, além de facilitarem a colheita mecanizada e os tratos culturais, permitem reduzir a incidência de algumas doenças, como o mofo-branco e amenizam os prejuízos com a colheita em épocas de chuvas prolongadas.

A seleção de plantas de porte ereto não tem sido fácil, pois são muitas as características que compõem a arquitetura da planta e que podem influenciar na expressão do caráter. A arquitetura da planta do feijoeiro tem despertado a atenção dos melhoristas, os quais atentam na busca por um ideótipo (Adams, 1973; Adams, 1982; Kelly & Adams, 1987; Brothers & Kelly, 1993; Beattie et al., 2003; Silva et al., 2009).

Algumas características morfológicas como a altura da planta, número e comprimento dos entrenós, diâmetro e comprimento do hipocótilo, número de vagens no terço superior, médio e inferior, altura de inserção da primeira vagem e número de vagens na haste principal compõem vários estudos visando identificar as que melhor definem a arquitetura da planta do feijoeiro (Izquierdo & Hosfield, 1983; Nienhuis & Singh, 1986; Acquaah et al., 1991 e 1992, Kornegay et al., 1992; Brothers & Kelly 1993). Destaque foi dado para a altura da planta, o diâmetro do hipocótilo, a

distribuição de vagens na secção média da planta e o ângulo de inserção das ramificações (Acquaah et al., 1991 e 1992).

O entendimento dos efeitos gênicos envolvidos no controle genético da arquitetura da planta do feijoeiro pode auxiliar os melhoristas na definição da estratégia de melhoramento mais adequada, visando otimizar o ganho com a seleção. Na literatura, as informações a respeito do controle genético da arquitetura de plantas do feijoeiro ainda são escassas. Há evidências de que estejam envolvidos vários genes e há grande influência do ambiente na expressão do caráter (Teixeira et al., 1999; Bassett, 2004; Moreto et al., 2007).

Um dos delineamentos genéticos mais acurado para se obter informações do controle genético dos caracteres é o de cruzamentos dialélicos. Nesse sentido, destaca-se o método de Hayman (1954), em que a análise permite inferência sobre o mecanismo básico de herança do caráter em estudo. Este método permite realizar a análise dialélica de gerações  $F_1$  e/ou  $F_2$ , obtidas a partir de cruzamentos envolvendo genitores homozigóticos (Cruz et al., 2004).

Nos programas de melhoramento do feijoeiro, nem sempre existe interesse na avaliação de todas as possíveis combinações de um dialelo completo, principalmente diante da dificuldade de obtenção de número suficiente de sementes híbridas e do interesse em combinar caracteres que se encontram em genitores distintos. Assim, a utilização de dialelos parciais desponta-se como uma alternativa promissora, pois permite o estudo de herança de um ou mais caracteres avaliados, bem como a escolha das populações segregantes com maior potencial para a extração de linhagens superiores. A adaptação do método proposto por Hayman (1954) a dialelos parciais foi desenvolvida por Viana et al. (1999). Entretanto, não há relatos na literatura de estudos com aplicação desta metodologia na cultura do feijoeiro, visando a herança de caracteres relacionados à arquitetura da planta.

Diante do exposto, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de obter estimativas dos efeitos gênicos envolvidos no controle genético da arquitetura de planta do feijoeiro por meio de cruzamentos dialélicos parciais.

#### **4. Material e métodos**

Quatorze linhagens de feijão (Tabela 1) foram cruzadas em um esquema de dialelo parcial. Essas linhagens foram divididas em dois grupos divergentes, considerando a arquitetura da planta, a produtividade e o tipo de grãos. O primeiro grupo foi composto por oito linhagens, sendo que três são de grãos pretos e de porte

ereto (BRS Valente, BRS Supremo e IPR Uirapuru), três de grãos tipo carioca e também de porte ereto (BRS Horizonte, CNFC 9466 e A805), mas que deixam a desejar quanto à produtividade e/ou tipo de grãos e duas linhagens de grãos tipo mulatinhos e de porte ereto (A170 e A525). O grupo dois foi composto por seis linhagens de grãos tipo carioca, sendo três provenientes de cruzamentos com a isolinha Rudá-R (Ragagnin et al., 2009), fonte de diferentes genes de resistência à antracnose, mancha angular e ferrugem (UTF 0013 x Rudá-R, GEN 12-2 x Rudá-R e CNFC 9437 x Rudá-R), as quais foram aqui denominadas de L1, L2, L3, e as linhagens VC6, BRS MG Majestoso e Madrepérola. As linhagens do grupo dois apresentam bom desempenho produtivo e bom aspecto comercial dos grãos, porém deixam a desejar quanto a arquitetura da planta.

**Tabela 1.** Procedência, tipo de grão, tipo de planta e porte de 14 linhagens de feijão utilizadas nos cruzamentos dialélicos

<b>Genitor<sup>1/</sup></b>	<b>Procedência</b>	<b>Tipo de grão</b>	<b>Tipo de planta</b>	<b>Porte</b>
BRS Valente	Embrapa	preto	II	Ereto
BRS Supremo	Embrapa	preto	II	Ereto
IPR Uirapuru	IAPAR	preto	II	Ereto
BRS Horizonte	Embrapa	carioca	II	Ereto
CNFC 9466	Embrapa	carioca	II	Ereto
A805	CIAT	carioca	II	Ereto
A170	CIAT	mulatinho	II	Ereto
A525	CIAT	mulatinho	II	Ereto
VC6	UFV	carioca	II/III	Semi-prostrado
BRS MG Majestoso	Convênio <sup>2/</sup>	carioca	II/III	Semi-prostrado
Madrepérola	UFV	carioca	III	Prostrado
L1	UFV	carioca	II/III	Semi-prostrado
L2	UFV	carioca	III	Prostrado
L3	UFV	carioca	III	Prostrado

<sup>1/</sup>Os oito primeiros genitores constituíram o grupo 1 e os demais o grupo 2 para os cruzamentos dialélicos. <sup>2/</sup>convênio UFLA/UFV/Epamig/Embrapa

Os cruzamentos foram realizados em casa de vegetação, pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e foram realizados segundo o procedimento sem a emasculação, conforme descrito por Peternelli et al. (2009).

As sementes F<sub>1</sub>'s foram semeadas no campo juntamente com os genitores, em experimento constituído por 62 tratamentos (48 híbridos + 14 genitores). A avaliação foi realizada na safra da seca/2008, semeadura em março, utilizando delineamento em blocos casualizados com três repetições. As parcelas foram constituídas de três linhas de 1,4 m, sendo a densidade de plantio de 12 sementes por metro e o espaçamento entre

linhas de 0,50 m. O experimento foi conduzido no Campo Experimental de Coimbra, em Coimbra-MG, pertencente ao Departamento de Fitotecnia da UFV, situado a 690 metros de altitude, 20°45'S de latitude e 42°51'W de longitude. Os tratos culturais foram de acordo com o recomendado para a cultura do feijoeiro na região.

No campo foram avaliadas a altura média de planta (AMP), em centímetros, e a arquitetura da planta (ARQ), avaliada por meio de uma escala de notas de cinco graus, sendo as notas atribuídas às parcelas experimentais. Nesta escala, nota 1 refere-se à planta do tipo II, ereta, com uma haste e com inserção alta das primeiras vagens; nota 2, à planta do tipo II, ereta e com algumas ramificações; nota 3, à planta do tipo II ou III, ereta, com muitas ramificações e tendência a prostrar-se; nota 4, à planta do tipo III, semi-ereta e medianamente prostrada, e nota 5, à planta do tipo III, com entrenós longos e muito prostrada (Collicchio et al., 1997).

Após a colheita, além da produtividade de grãos, em kg/ha, foram avaliadas algumas características relacionadas com a arquitetura de planta: diâmetro do hipocótilo (DH), em centímetros, altura de inserção da primeira vagem (AIPV), em centímetros, o número de vagens total (VT), o número de vagens nos ramos (VR) e o número de ramos (NR). Essas características foram mensuradas em dez plantas retiradas da linha central de cada parcela, sendo a análise realizada com as médias.

As características DH, AIPV, VT, VR, NR e AMP foram correlacionadas com a nota de arquitetura de planta (ARQ) para verificar a possibilidade de utilizá-las na seleção de plantas com arquitetura mais ereta.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância. Posteriormente, as médias dos genitores e dos  $F_1$ 's foram analisadas de acordo com o modelo de dialelo parcial proposto por 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  $r = 1, 2, \dots, 8$ ) para o grupo 1 e de  $W_s$  em função de  $V_s$  (sendo  $s = 1, 2, \dots, 6$ ) 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;  $V_r$  a variância das médias dos híbridos do genitor  $r$  (grupo 1);  $W_s$  a covariância entre a média dos híbridos do genitor  $s$  (grupo 2) e a média dos genitores do grupo 1 e  $V_s$  a variância das médias dos híbridos do genitor  $s$  (grupo 2).

Para os caracteres em que se observou suficiência do modelo aditivo-dominante no estudo de herança, foram estimados os seguintes componentes genéticos e ambiental:  $D_{(1)}$  e  $D_{(2)}$ : componentes associados aos efeitos aditivos;  $H_{1(1)}$ ,  $H_{1(2)}$  e  $H_2$ : 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;  $\varepsilon$ : 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 são bem estabelecidos, considerou-se, conforme Singh & Chaudhary (1979), que valores de t acima de 1,96 foram significativos a 5% de probabilidade.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando os recursos computacionais do programa GENES (Cruz, 2006).

## 5. Resultados e discussão

### 5.1. Teste de suficiência do modelo aditivo-dominante

As características diâmetro do hipocótilo e altura média de planta foram as mais correlacionadas com a nota de arquitetura de planta (Tabela 2), indicando que estas características são as mais promissoras para auxiliar na seleção de plantas eretas. Desta forma, este estudo enfatizará apenas as características nota de arquitetura de planta, diâmetro do hipocótilo, altura média de planta e produtividade de grãos.

Notou-se pela significância do efeito de tratamentos ( $P < 0,01$ ) (Tabela 3), a existência de variabilidade entre os genitores considerando esses quatro caracteres. Essa variabilidade é essencial para determinar o controle genético dos caracteres em estudo, bem como aumentar a chance de êxito na extração de linhagens superiores das populações segregantes oriundas dos cruzamentos dialélicos parciais.

**Tabela 2.** Estimativas de correlações genóticas entre nota de arquitetura de planta (ARQ), altura média de planta (AMP), diâmetro do hipocótilo (DH), altura de inserção da primeira vagem (AIPV), número de vagens totais (VT), número de vagens nos ramos (VR), número de ramos (NR) e produtividade de grãos (PROD), no feijoeiro

	ARQ	AMP	DH	AIPV	VT	VR	NR	PROD
ARQ	-	-0,791 <sup>+</sup>	-0,799 <sup>+</sup>	0,185	0,092	0,578	0,387	0,452 <sup>+</sup>
AMP		-	0,783 <sup>+</sup>	-0,157	0,213	-0,285	-0,487 <sup>+</sup>	-0,639 <sup>+</sup>
DH			-	0,229	0,422	-0,307 <sup>+</sup>	-0,414 <sup>+</sup>	-0,164
AIPV				-	0,395 <sup>+</sup>	-0,036	-0,321 <sup>+</sup>	0,408
VT					-	0,346	-0,192	0,091
VR						-	0,647	0,165
NR							-	0,279
PROD								-

<sup>+</sup> significativo a 5 % pelo método de “bootstrap” com 5000 simulações.

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância para nota de arquitetura da planta (ARQ), diâmetro do hipocótilo (DH), altura média de planta (AMP) e produtividade de grãos (PROD).

FV	GL	QM			
		ARQ	DH	AMP	PROD
Tratamentos	61	0,77**	0,008**	123,78**	539398,92**
Resíduo	122	0,16	0,001	15,52	100898,58
CV(%)		16,79	5,34	9,73	9,05
Média		2,42	0,58	40,51	3509,87

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F.

Os coeficientes de regressão de  $W_r$  em função de  $V_r$  e de  $W_s$  em função de  $V_s$  foram não significativos e estatisticamente iguais a um, para nota de arquitetura de planta e diâmetro do hipocótilo, evidenciando que o modelo aditivo-dominante é adequado para os dois grupos de genitores, visando o estudo de herança dessas características (Tabela 4). Já para altura média de planta e produtividade de grãos o modelo aditivo-dominante não foi suficiente.

Quando o modelo aditivo-dominante é suficiente indica que as pressuposições de genes com herança mendeliana, espécie diplóide, genitores homozigóticos, ausência de efeito materno, ausência de alelismo múltiplo, distribuição de genes não alélicos de forma independente entre genitores e ausência de epistasia são atendidas (Hayman, 1954). Caso contrário, a consequência mais comum tem sido a ocorrência de epistasia no controle genético do caráter em estudo e de genes não distribuídos de forma independente entre os genitores (Cruz et al., 2004).

Este último requisito muitas vezes não é atendido quando se trabalha com grupos de linhagens elites, como o grupo 2 deste estudo, embora, neste caso, elas não tenham sido selecionadas com base em caracteres relacionados à arquitetura de plantas. Assim, a não suficiência do modelo aditivo-dominante para o estudo de herança dos caracteres altura média de planta e produtividade de grãos pode ser devido à ocorrência de epistasia no controle genético desses caracteres. Cabe ressaltar que essas características são complexas, pois dependem de outras.

**Tabela 4.** Teste de suficiência do modelo aditivo-dominante com base na análise de regressão linear de  $W_r$  em função de  $V_r$  e  $W_s$  em função de  $V_s$  para as características diâmetro do hipocótilo (DH), nota de arquitetura da planta (ARQ), altura média de planta (AMP) e produtividade de grãos (PROD)

FV	GL (G1)	QM (G1)				GL (G2)	QM (G2)			
		DH	ARQ	AMP	PROD		DH	ARQ	AMP	PROD
Regressão	1	0,000001**	0,0288**	70,70 <sup>ns</sup>	2916733574,72 <sup>ns</sup>	1	0,000001*	0,0067*	6,38 <sup>ns</sup>	13545815866,62 <sup>ns</sup>
Desvio	6	0,000000	0,0013	41,41	830518392,17	4	0,000000	0,0006	238,65	6139652531,61
Intercepto (a)		0,0005	0,0444	8,17	27238,75		0,0007	-0,0004	7,80	-29152,54
Coefficiente angular (b)		1,2235	1,2018	0,39	-0,49		1,0016	0,8771	-0,14	0,91
Valor de t ( $H_0: b = 1$ )		0,888 <sup>ns</sup>	0,800 <sup>ns</sup>	-2,07*	-5,74*		0,006 <sup>ns</sup>	-0,477 <sup>ns</sup>	-1,36*	-0,14 <sup>ns</sup>

\*\* , \* Significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste de F.

<sup>ns</sup> não significativo

## 5.2. Parâmetros genéticos

As estimativas dos parâmetros genéticos para os caracteres nota de arquitetura de planta e diâmetro do hipocótilo são apresentadas na Tabela 5. Observou-se que os componentes associados aos efeitos aditivos ( $D_{(1)}$  e  $D_{(2)}$ ) foram predominantes em relação aos componentes associados aos efeitos de dominância ( $H_{1(1)}$ ,  $H_{1(2)}$ ,  $H_2$ ,  $H_2'$ ,  $h^2$ ), para as duas características. Isso indica ser a fração aditiva a principal responsável no controle genético da arquitetura da planta e do diâmetro do hipocótilo em feijoeiro. Resultados semelhantes foram obtidos por Santos e Vencovsky (1986) e Teixeira et al. (1999).

A significância dos componentes aditivos ( $D_{(1)}$  e  $D_{(2)}$ ) indica existência de variabilidade genética nos dois grupos de genitores para as características estudadas. Para nota de arquitetura de planta a estimativa de  $D_{(1)} - D_{(2)}$  foi menor que zero (-0,4204) (Tabela 5), evidenciando maior variabilidade no grupo 2 ( $D_{(2)} > D_{(1)}$ ). Este resultado era esperado, em razão das linhagens deste grupo serem mais divergentes quanto a arquitetura de planta, uma vez que foram escolhidas considerando a produtividade e o aspecto de grãos sem levar em consideração a arquitetura de planta. Já para diâmetro do hipocótilo a diferença entre  $D_{(1)}$  e  $D_{(2)}$  foi próxima de zero (0,0003) indicando que a variabilidade é similar para os dois grupos de genitores.

**Tabela 5.** Estimativas dos parâmetros genéticos para as características nota de arquitetura de planta (ARQ) e diâmetro do hipocótilo (DH) em feijoeiro

Parâmetro	ARQ			DH		
	Estimativa	Desvio padrão	t	Estimativa	Desvio padrão	t
D <sub>1</sub> <sup>1/</sup>	0,1435	0,0301	4,7713*	0,0047	0,0002	21,9975*
D <sub>2</sub> <sup>1/</sup>	0,5639	0,0301	18,7488*	0,0044	0,0002	20,5549*
F <sub>1</sub>	0,7354	0,0877	8,3869*	0,0039	0,0006	6,2278*
F <sub>2</sub>	0,2576	0,0877	2,9371*	0,0018	0,0006	2,8594*
F <sub>3</sub>	0,8851	0,0877	10,0938*	0,0020	0,0006	3,1772*
F <sub>4</sub>	0,2356	0,0877	2,6871*	0,0052	0,0006	8,2615*
F <sub>5</sub>	0,4077	0,0877	4,6491*	0,0022	0,0006	3,4950*
F <sub>6</sub>	0,6522	0,0877	7,4381*	0,0000	0,0006	-0,0005
F <sub>7</sub>	0,6854	0,0877	7,8162*	0,0022	0,0006	3,4314*
F <sub>8</sub>	0,7556	0,0877	8,6172*	0,0034	0,0006	5,4016*
F' <sub>1</sub>	0,1194	0,0885	1,3481	0,0011	0,0006	1,7419
F' <sub>2</sub>	-0,2256	0,0885	-2,5473*	0,0034	0,0006	5,3385*
F' <sub>3</sub>	0,0758	0,0885	0,8566	0,0040	0,0006	6,2377*
F' <sub>4</sub>	-0,2643	0,0885	-2,9846*	0,0025	0,0006	3,8999*
F' <sub>5</sub>	-0,0275	0,0885	-0,3108	0,0021	0,0006	3,3154*
F' <sub>6</sub>	-0,1780	0,0885	-2,0107*	-0,0008	0,0006	-1,2702
H <sub>1(1)</sub> <sup>2/</sup>	-0,0222	0,1190	-0,1862	0,0007	0,0009	0,8594
H <sub>1(2)</sub> <sup>2/</sup>	0,1040	0,1165	0,8925	0,0004	0,0008	0,5223
H <sub>21</sub>	-0,0706	0,1203	-0,5868	-0,0001	0,0009	-0,1580
H <sub>22</sub>	-0,0011	0,1203	-0,0090	0,0001	0,0009	0,1712
H <sub>23</sub>	-0,0820	0,1203	-0,6820	0,0000	0,0009	0,0196
H <sub>24</sub>	0,0184	0,1203	0,1526	0,0003	0,0009	0,3730
H <sub>25</sub>	0,0568	0,1203	0,4721	0,0000	0,0009	-0,0044
H <sub>26</sub>	-0,0775	0,1203	-0,6445	0,0002	0,0009	0,2262
H <sub>27</sub>	-0,0099	0,1203	-0,0823	0,0008	0,0009	0,9261
H <sub>28</sub>	-0,0663	0,1203	-0,5513	0,0001	0,0009	0,1129
H <sub>2'1</sub>	-0,0289	0,1193	-0,2420	0,0001	0,0009	0,1556
H <sub>2'2</sub>	-0,0248	0,1193	-0,2083	0,0001	0,0009	0,0679
H <sub>2'3</sub>	-0,0314	0,1193	-0,2635	-0,0001	0,0009	-0,0937
H <sub>2'4</sub>	-0,0349	0,1193	-0,2924	0,0005	0,0009	0,5556
H <sub>2'5</sub>	0,0095	0,1193	0,0800	0,0000	0,0009	0,0355
H <sub>2'6</sub>	-0,0554	0,1193	-0,4643	0,0005	0,0009	0,5350
h <sup>2</sup> <sup>2/</sup>	-0,0201	0,0854	-0,2358	0,0000	0,0006	-0,0736
ε	0,0549	0,0213	2,5811*	0,0003	0,0002	2,1138*
F médio	0,5768	0,0673	8,5769*	0,0026	0,0005	5,3544*
F' médio	-0,0834	0,0695	-1,2001	0,0020	0,0005	4,0927*
H <sub>2</sub> médio	-0,0284	0,0797	-0,3569	0,0002	0,0006	0,3139

<sup>1/</sup>componentes associados aos efeitos aditivos <sup>2/</sup>componentes associados aos efeitos de dominância

\*significativo conforme Singh & Chaudhary (1979)

As estimativas das razões  $H_2/4H_{1(2)}$  (grupo 1) e  $H_2/4H_{1(1)}$  (grupo 2) indicam como os alelos são distribuídos entre os genitores de cada grupo (simetria). Os alelos apresentam distribuição simétrica quando esta razão apresentar valor próximo de 0,25 e assimétrica quando for próximo de zero. Para arquitetura de planta (grupo 1) e diâmetro do hipocótilo (grupos 1 e 2), os valores foram bem inferiores a 0,25, indicando que os alelos de efeitos favoráveis ou desfavoráveis apresentam distribuição assimétrica nos genitores. Estas estimativas foram, respectivamente, iguais a -0,07, 0,10 e 0,06.

Apenas no grupo 2, para nota de arquitetura de planta, observou-se valor elevado de simetria (0,32). Esta estimativa, provavelmente, apresenta um viés, pois o valor paramétrico esperado é de no máximo 0,25. Este resultado indica ser a característica nota de arquitetura de planta muito mais complexa do que o diâmetro do hipocótilo. Esta maior complexidade resulta do grande número de caracteres envolvidos na determinação da arquitetura de plantas do feijoeiro. Ademais, a nota de arquitetura de plantas é uma característica menos precisa em sua avaliação comparada ao diâmetro do hipocótilo. Esta menor precisão é esperada, uma vez que a atribuição de notas para a arquitetura de plantas é subjetiva, trabalhosa e requer avaliadores com grande experiência para uma avaliação mais precisa, enquanto a avaliação do diâmetro do hipocótilo é feita com um paquímetro digital, estando sujeita a erros muito menores. Os coeficientes de variação destes caracteres (Tabela 3) também ratificam estes resultados. Contudo, como o valor estimado para a simetria foi elevado (0,32) e próximo de 0,25, pode-se inferir que os genes determinantes da nota de arquitetura de plantas estão igualmente distribuídos nos genitores deste grupo.

Os componentes  $H_{1(1)}$  e  $H_{1(2)}$  para as duas características foram não significativos e próximos de zero, indicando ausência de dominância no controle genético desses caracteres. Conforme Viana et al. (1999), havendo variabilidade entre os genitores de um grupo, o componente  $H_1$  deste grupo será nulo na ausência de dominância e positivo na presença de desvios significativos de dominância, no controle genético do caráter em apreço. Outros indicativos da ausência de dominância no controle genético dos caracteres nota de arquitetura de planta e diâmetro do hipocótilo são as estimativas não significativas dos componentes  $H_2$ ,  $H_2'$  e  $H_2$  médio (Tabela 5).

Na presença de dominância, 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 (Viana et al., 1999). Assim, na ausência de dominância, como detectado neste estudo, o componente  $F$  não é uma estatística confiável em estabelecer a ordem dos genitores quanto ao número de genes dominantes que possui. Este fato pode

ser visualizado pela contradição entre a ordem estabelecida para nota de arquitetura de planta dos genitores do grupo 1 (IPR Uirapuru, A525, BRS Valente, A170, A805, CNFC 9466, BRS Supremo e BRS Horizonte) e aquela estabelecida para diâmetro do hipocótilo para esses mesmos genitores (BRS Horizonte, BRS Valente, A525, CNFC 9466, A170, IPR Uirapuru e BRS Supremo) (Tabela 5). Em razão da alta correlação genética (-0,80) entre os caracteres nota de arquitetura de planta e diâmetro do hipocótilo, esperava-se que a classificação dos genitores quanto ao número de genes dominantes que possui deveria ser a mesma para essas duas características. Ainda cabe ressaltar que a linhagem BRS Horizonte, classificada pelos valores de F como linhagem portadora de maior número de genes dominantes, é a que apresenta menor média de diâmetro do hipocótilo (Tabela 6). Este resultado é mais um indício de que os valores de F, na ausência de dominância, não apresentam relação direta com a frequência de genes dominantes.

**Tabela 6.** Média de nota de arquitetura da planta (ARQ) e diâmetro do hipocótilo (DH), obtidas na avaliação dos 14 genitores e 48 híbridos de feijoeiro

	<b>ARQ</b>	<b>DH</b>	<b>AMP</b>	<b>PROD</b>	
<b>Genótipos</b>		<b>(cm)</b>	<b>(cm)</b>	<b>(kg/ha)</b>	
<b>Grupo 1</b>	BRS Valente	2,500	0,584	42	3444
	BRS Supremo	1,667	0,646	49	3620
	IPR Uirapuru	2,000	0,689	51	3380
	BRS Horizonte	2,000	0,518	41	2724
	CNFC9466	2,000	0,604	46	3220
	A805	1,500	0,648	50	2539
	A170	2,000	0,594	53	3276
	A525	1,000	0,752	71	2007
<b>Média G<sub>1</sub></b>	<b>1,833</b>	<b>0,630</b>	<b>50</b>	<b>3026</b>	
<b>Grupo 2</b>	VC6	1,833	0,623	46	2741
	BRS MG Majestoso	3,167	0,531	39	3304
	Madrepérola	4,167	0,423	28	3344
	L1	2,667	0,589	38	3322
	L2	3,500	0,516	38	2983
	L3	3,000	0,553	36	3115
<b>Média G<sub>2</sub></b>	<b>3,056</b>	<b>0,539</b>	<b>38</b>	<b>3135</b>	
<b>Média dos híbridos</b>	<b>2,434</b>	<b>0,580</b>	<b>39</b>	<b>3637</b>	
<b>Média dos genitores</b>	<b>2,445</b>	<b>0,585</b>	<b>44</b>	<b>3081</b>	

O valor médio de F em um grupo de genitores é indicativo das frequências relativas dos genes dominantes e recessivos envolvidos no controle do caráter em questão de cada grupo de linhagens que não estão fixados grupo oposto. Observou-se para nota de arquitetura de planta que a estimativa de F médio foi positiva e

significativa para o grupo 1, evidenciando que os genes dominantes deste grupo, não fixados nas linhagens do grupo 2, são mais freqüentes que os recessivos (Tabela 5). No grupo 2 a estimativa de F' médio foi próxima de zero e não significativa, indicando que os genes dominantes que determinam a arquitetura de planta neste grupo e que não estão fixados nas linhagens do grupo 1 estão igualmente distribuídos entre as linhagens deste grupo.

Para diâmetro do hipocótilo os dois grupos apresentaram as estimativas de F médio e F' médio positivas (Tabela 5), indicando que os dois grupos de genitores possuem maior freqüência de genes dominantes não fixados no grupo oposto. As informações obtidas pelos valores de F médio e F' médio são corroboradas pelas informações apresentadas pelos valores da simetria.

Cabe ressaltar que as informações relativas aos valores de F referem-se a genes diferentes presentes em cada grupo de linhagens. Como foi observado ausência de dominância para ambos os caracteres em análise, é possível inferir que os híbridos resultantes dos cruzamentos entre as linhagens dos dois grupos de genitores não exibirão heterose. Entretanto, as linhagens dos dois grupos possuem genes que se complementam e irão permitir segregação transgressiva nas populações segregantes obtidas a partir dos híbridos F<sub>1</sub>'s, para os caracteres relacionados à arquitetura da planta do feijoeiro. Como as linhagens do grupo 1 são mais eretas que as do grupo 2 (Tabela 1), pode-se concluir que são os genes dominantes que atuam reduzindo as notas de arquitetura de planta e aumentando o diâmetro do hipocótilo, contribuindo para melhorar a arquitetura da planta do feijoeiro. As linhagens do grupo 1, em razão de possuírem maior proporção de genes dominantes para as características nota de arquitetura de planta e diâmetro do hipocótilo, apresentam elevado potencial como genitores para programas de melhoramento que visem melhoria da arquitetura de plantas do feijoeiro.

A estimativa da herdabilidade no sentido amplo foi maior para diâmetro do hipocótilo (0,81) do que para a nota de arquitetura de planta (0,60), evidenciando que a nota de arquitetura da planta é uma característica mais complexa do que o diâmetro do hipocótilo. Isso porque muitos caracteres, tais como hábito de crescimento, número e comprimento de entrenós, diâmetro do hipocótilo, altura de inserção da primeira vagem, número de ramificações, altura da planta, ângulo de inserção de ramificações, distribuição das vagens e presença de *stay green*, afetam a arquitetura da planta (Leakey, 1988; Acqaah et al., 1991; Kornegay et al., 1992; Brothers e Kelly, 1993; Teixeira et al., 1999; Aguiar et al., 2000). Na ausência de dominância, como relatado

por Moreto et al. (2007), infere-se que a herdabilidade no sentido restrito seja de magnitude próxima à no sentido amplo. Ademais, a fração da variância genotípica foi predominantemente de natureza aditiva para ambos os caracteres.

A determinação do controle genético dos caracteres pode auxiliar o melhorista na condução do programa de melhoramento, tornando-o mais eficiente. No caso de autógamias, auxiliam em decisões como a escolha dos potenciais genitores e, principalmente, na determinação da geração de endogamia mais apropriada para a abertura dos bulks e das estratégias de seleção mais eficazes. Com os resultados obtidos, destaca-se que a seleção de plantas mais eretas pode ser praticada em gerações precoces, pois os caracteres nota de arquitetura de planta e diâmetro do hipocótilo apresentaram predominância de efeitos aditivos.

Quando os bulks são abertos ainda em gerações iniciais,  $F_2$  por exemplo, espera-se 50% da variação genotípica entre plantas dentro das famílias  $F_{2:3}$  (Vencovsky & Barriga, 1992). Assim, o diâmetro do hipocótilo apresenta maior potencial para ser utilizado na seleção de plantas mais eretas, seja considerando a seleção entre e dentro de famílias, combinada ou recorrente fenotípica. Isto porque as medidas de diâmetro são realizadas em plantas individuais dentro das parcelas e apresentaram maior acurácia ( $h^2 = 0,81$ ) e precisão ( $CV = 5,34\%$ ) em sua avaliação.

Vale ressaltar que o caráter diâmetro do hipocótilo também pode ser utilizado na seleção, tornando este processo mais eficiente. Para tal, sugere-se a derivação de famílias, a partir de plantas  $F_2$ , que apresentarem maior diâmetro do hipocótilo. Com isto, espera-se que as progênies apresentem maior potencial visando a seleção de plantas de porte ereto.

## 6. Referências bibliográficas

ACQUAAH, G.; ADAMS, M. W.; KELLY, J. D. A factor analysis of plant variables associated with architecture and seed in dry bean. **Euphytica**, Wageningen, v. 60, n. 1, p. 171-177, 1992.

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

ADAMS, M. W. Plant architecture and physiological efficiency. In: CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. **Potentials of field beans and other food legumes in Latin America**. Cali, Colombia, 1973. p. 226-278.

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

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

BASSET, M. J. List of genes - *Phaseolus vulgaris* L. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Forte Collins, v. 47 p. 1-24, 2004.

BEATTIE, A. D.; LARSEN, J.; MICHAELS, T. E.; PAULS, K. P. Mapping quantitative trait loci for a common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) ideotype. **Genome**, v. 46, p. 411-422, 2003.

BROTHERS, M. E.; KELLY, J. D. Interrelationship of plant architecture and yield components in the pinto bean ideotype. **Crop Science**, Madison, v. 33, n. 6, p. 1234-1238, Nov./Dec. 1993.

COLLICCHIO, E.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Associação entre o porte da planta do feijoeiro e o tamanho dos grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 3, p. 297-304, mar. 1997.

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

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

HAYMAN, B.I. The theory and analysis of diallel crosses. **Genetics**, Baltimore, v.39, n.6, p.789-809, 1954.

IZQUIERDO, J. A.; HOSFIELD, G. L. The Relationship of Seed Filling to Yield among Dry Beans With Differing Architectural Forms. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 108, n. 1, p. 106-111, 1983.

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

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

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

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

NIENHUS, J.; SINGH, S. P. Combining ability analyses and relationships among yield, yield components and architectural traits in dry bean. **Crop Science**, Madison, v. 26, n. 1, p. 21-27, Jan./Feb. 1986.

PETERNELLI, L. A.; BORÉM, A.; CARNEIRO, J. E. S. Hibridação em Feijão. In: BORÉM, A. (Ed.) **Hibridação Artificial de Plantas**. 2 ed. Viçosa: UFV, 2009. p. 269-294.

RAGAGNIN, V. A.; SOUZA, T. L. P. O.; SANGLARD, D. A.; ARRUDA, K. M. A.; COSTA, M. R.; ALZATE-MARIN, A. L.; CARNEIRO, J. E. S.; MOREIRA, M. A.; BARROS, E. G. de. Development and agronomic performance of common bean lines simultaneously resistant to anthracnose, angular leaf spot and rust. **Plant Breeding**, v. 128, n. 2, p. 156-163, 2009.

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

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

SINGH, R. K.; CHAUDHARY, B. D. Biometrical methods in quantitative genetic analysis. New Delhi : Kalyani, 1979. 304 p.

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

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496 p.

VIANA, J.M.S.; CRUZ, C.D.; CARDOSO, A.A. Theory and analysis of partial diallel crosses. **Genetics and Molecular Biology**, v.22, p.591-599, 1999.

#### **4. CONCLUSÕES GERAIS**

Os efeitos aditivos são os predominantes no controle genético dos caracteres nota de arquitetura de planta e diâmetro do hipocótilo em feijoeiro.

O diâmetro do hipocótilo apresenta maior acurácia e precisão em sua avaliação do que a nota de arquitetura de planta.

Os genes dominantes atuam reduzindo a nota de arquitetura de planta e aumentando o diâmetro do hipocótilo.

O diâmetro do hipocótilo apresenta potencial para ser utilizado na seleção de plantas mais eretas, considerando a seleção dentro de famílias.

A linhagem A525 apresenta elevado potencial para ser utilizada como genitor em programas de melhoramento visando obtenção de linhagens de porte ereto.

O cruzamento A170 x VC6 foi o mais promissor para produtividade de grãos, enquanto que, para extração de linhagens de porte ereto, o cruzamento A805 x BRS MG Majestoso foi o mais promissor.