

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL**

**ANÁLISE GENÉTICO-BIOMÉTRICA DE UM DIALELO DE  
FEIJOEIRO COMUM NA PRESENÇA DE ALUMÍNIO**

**ELIZA KIYOMI BEPPU HASEGAWA**

**DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL - BRASIL**

**2003**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL**

**ANÁLISE GENÉTICO-BIOMÉTRICA DE UM DIALELO DE  
FEIJOEIRO COMUM NA PRESENÇA DE ALUMÍNIO**

**ELIZA KIYOMI BEPPU HASEGAWA**  
Engenheira Agrônoma

**Orientador: Prof. Dr. MANOEL CARLOS GONÇALVES**

**Dissertação apresentada a Universidade  
Federal de Mato Grosso do Sul, como  
requisito à obtenção do Título de Mestre  
em Agronomia, Área de concentração:  
Produção Vegetal.**

**DOURADOS**  
**MATO GROSSO DO SUL - BRASIL**

2003

633.33  
H346a

Hasegawa, Eliza Kiyomi Beppu

Análise genético-biométrica de um dialeto de feijoeiro comum na presença de alumínio / Eliza Kiyomi Beppu Hasegawa. Dourados, MS : UFMS, Campus de Dourados, 2003.

92p.

Dissertação de mestrado.

1. Feijão – Análise genético-biométrica.
2. Feijão – Análise dialélica. 3. Feijão – Parâmetro genético

Ficha catalográfica elaborada pelo setor de biblioteca NCA/UFMS

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
CÂMPUS DE DOURADOS**

**ANÁLISE GENÉTICO-BIOMÉTRICA DE UM DIALELO DE  
FEIJOEIRO COMUM NA PRESENÇA DE ALUMÍNIO**

**Por:**

**ELIZA KIYOMI BEPPU HASEGAWA**

**Dissertação apresentada como parte dos requisitos  
para obtenção do título de  
MESTRE EM AGRONOMIA**

**Aprovado em:**

**Prof. Dr. Manoel Carlos Gonçalves  
ORIENTADOR  
UFMS/CPDO**

**Prof. Dr. Nelson da Silva Fonseca Júnior  
IAPAR**

**Prof. Dr. Luiz Carlos Ferreira de Souza  
UFMS/CPDO**

**Prof<sup>a</sup> Dra. Marlene Estevão Marchetti  
UFMS/CPDO**

Aos meus pais  
Issao e Toshiko

## OFEREÇO

Ao Júlio Matsunaga, meu noivo, pelo incentivo e  
companheirismo de todos os momentos e aos  
meus irmãos, Emília, Júlio e Luzia, pela  
paciência e solidariedade.

## DEDICO

## AGRADECIMENTOS

A Deus que iluminou os meus caminhos, e me deu força, coragem e a determinação para prosseguir no caminho certo.

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, ao Departamento de Ciências Agrárias e à Coordenação do Curso de Mestrado, pelo apoio.

À CAPES, pelos recursos financeiros por meio de bolsas individuais no Mestrado.

Ao professor Dr. Manoel Carlos Gonçalves, pelo orientação, ensinamentos, estímulo e amizade no decorrer do curso e realização deste trabalho.

Aos demais professores e em especial aos professores co-orientadores Dr. Luiz Carlos Ferreira de Souza e a Dra. Marlene Estevão Marchetti, pelos ensinamentos e o incentivo constante.

À secretária do Curso do Mestrado, Adriana, pela presteza, atenção e amizade.

Aos funcionários de campo pela colaboração na execução dos trabalhos. Às funcionárias Nilda e tia Eva, pela colaboração na execução dos trabalhos no Laboratório de Solos.

À Biblioteca Central da UFMS e da EMBRAPA, pela revisão das referências bibliográficas.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização desta obra.

Meus sinceros agradecimentos

## LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 Regressão de  $W_r$  e  $V_r$  para comprimento da raiz principal, na dose de  $50\text{mg.L}^{-1}$  de alumínio, onde os genitores: 1 - Xamego; 2 - Ouro Negro; 3 - Pérola; 4 - Ouro; e 5 - Diamante Negro..... 65
- FIGURA 2 Regressão de  $W_r$  e  $V_r$  para comprimento do sistema radicular, na dose de  $50\text{mg.L}^{-1}$  de alumínio, onde os genitores: 1 - Xamego; 2 - Ouro Negro; 3 - Pérola; 4 - Ouro; e 5 - Diamante Negro..... 65

# **ANÁLISE GENÉTICO-BIOMÉTRICA DE UM DIALELO DE FEIJOEIRO COMUM NA PRESENÇA DE ALUMÍNIO**

**Eliza Kiyomi Beppu Hasegawa**

**Orientador: Manoel Carlos Gonçalves**

## **RESUMO**

Neste trabalho foram estimados os valores da capacidade geral de combinação (CGC), capacidade específica de combinação (CEC) através do método de Griffing, da heterose (média, varietal e específica) através do método de Gardner e Eberhart e da ação gênica pelo método de Hayman, de cinco genótipos de feijoeiro por meio de cruzamento dialélico sob condições de alumínio, visando auxiliar na seleção de genitores para tolerância à toxidez de alumínio. O experimento foi realizado em casa de vegetação, na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Câmpus de Dourados. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, com três repetições. Utilizaram-se vasos de plásticos de 2 L com solução nutritiva e uma planta/vaso (parcela). Foram avaliados cinco variedades de feijão (Xamego, Ouro Negro, Pérola, Ouro e Diamante Negro) e seus respectivos híbridos  $F_1$ 's, em um esquema dialélico de meia-tabela, em condições de 0 e 50  $\text{mg.L}^{-1}$  de alumínio. Avaliaram-se os seguintes caracteres: comprimento da raiz principal, em cm (CRAP), comprimento do sistema radicular, em cm (CSRA), massa seca da parte aérea, em g (MSPA) e massa seca das raízes, em g (MSRA). Os maiores efeitos positivos da CGC para CRAP, CSRA e MSRA foram obtidos pelo genitor Ouro Negro. Com base na CEC, verificou-se que combinações híbridas promissoras foram obtidas cruzando-se o genitor Ouro Negro com o genitor Ouro que se destacou em relação ao efeito positivo da CEC para todos os caracteres avaliados. As combinações híbridas 'Ouro Negro x Ouro' e 'Xamego x Ouro Negro', praticamente, apresentaram as melhores estimativas da CEC ( $s_{ij}$ ) para todos os caracteres, indicando grande probabilidade de se obter genótipos superiores utilizando-os nos cruzamentos artificiais. O genitor Ouro, apresentou as maiores estimativas positivas de  $V_j$  para CRAP, Pérola para CSRA e MSPA e, Ouro Negro para MSRA.

Portanto, esses genitores apresentaram maior potencial *per se* ou para serem utilizados em cruzamentos, em relação à tolerância ao alumínio tóxico ( $Al^{3+}$ ) na dose de 50  $mg.L^{-1}$ . A escolha do genitor Pérola, pelo seu desempenho e do genitor Ouro Negro, pela sua divergência genética foram uma boa opção para o melhoramento em relação à tolerância ao alumínio tóxico ( $Al^{3+}$ ). Constatou-se que as combinações híbridas 'Ouro Negro x Ouro', 'Pérola x Diamante Negro' e 'Xamego x Ouro Negro', são indicadas para explorar o efeito heterótico para tolerância ao alumínio tóxico ( $Al^{3+}$ ). Com a aplicação da metodologia de Hayman, foram detectadas evidências de epistasia nos caracteres MSPA e MSRA. Nos CRAP e CSRA os efeitos gênicos de dominância foram mais importantes, e houve sobredominância para esses dois caracteres. O genitor Xamego apresentou maior concentração de alelos favoráveis para tolerância ao alumínio para CRAP e os genitores Pérola e Ouro para CSRA. O quociente b não indicou, para todos os caracteres, a possibilidade de sucesso para seleção, sendo bastante influenciado pelo ambiente nas suas expressões fenotípicas. As correlações fenotípica e genotípica entre MSPA e MSRA foram positivas e elevadas na presença de alumínio e na análise conjunta, indicando que o efeito do alumínio nas raízes afetou também a parte aérea.

# Capacidade de combinação e heterose em feijoeiro quanto à tolerância ao alumínio

Eliza Kiyomi Beppu Hasegawa<sup>1</sup>; Manoel Carlos Gonçalves<sup>1</sup>; Marlene Estevão Marchetti<sup>1</sup>; Luiz Carlos Ferreira de Souza<sup>1</sup> e Nelson da Silva Fonseca<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Caixa Postal 533, CEP 79804-907, Dourados, MS, Brasil; <sup>2</sup> Área de Melhoramento e Genética Vegetal do Instituto Agrônômico do Estado do Paraná (IAPAR), Caixa Postal 481, CEP 86001-970, Londrina, Paraná, Brasil.

(\* Correspondência do autor: E-mail: ehasegaw@zaz.com.br)

## RESUMO

Neste trabalho foram estimados os valores da capacidade geral (CGC) e específica (CEC) de combinação através do método de Griffing (1956) e da heterose através do método de Gardner e Eberhart (1966), por meio de cruzamento dialélico, visando auxiliar na seleção de genitores de feijoeiro para tolerância à toxidez de alumínio. O experimento foi realizado em casa de vegetação, na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Câmpus de Dourados. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, com três repetições. Utilizaram-se solução nutritiva e uma planta/vaso (parcela). Foram avaliados cinco variedades de feijão e seus respectivos híbridos F<sub>1</sub>'s, em um esquema dialélico de meia-tabela, em condições de 0 e 50 mg.L<sup>-1</sup> de alumínio. Avaliaram-se os seguintes caracteres: comprimento da raiz principal, (CRAP), comprimento do sistema radicular (CSRA), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca das raízes (MSRA). Os maiores efeitos positivos da CGC para CRAP, CSRA e MSRA foram obtidos pelo genitor Ouro Negro. Com base na CEC, as combinações híbridas 'Ouro Negro x Ouro' e 'Xamego x Ouro Negro', praticamente, apresentaram as melhores estimativas de  $s_{ij}$  para todos os caracteres, indicando grande probabilidade de se obterem genótipos superiores utilizando-os nos cruzamentos artificiais. O genitor Pérola, apresentou as maiores estimativas positivas de  $V_j$  para CSRA e MSPA e, Ouro Negro para MSRA. A escolha do genitor Pérola, pelo seu desempenho e do genitor Ouro Negro, pela sua divergência genética foram uma boa opção para o melhoramento em relação à tolerância ao alumínio tóxico. Constatou-se

que as combinações híbridas 'Ouro Negro x Ouro' 'Pérola x Diamante Negro' e 'Xamego x Ouro Negro', são indicadas para explorar o efeito heterótico para tolerância ao alumínio tóxico ( $Al^{3+}$ ).

PALAVRAS-CHAVES: *Phaseolus vulgaris*, Análise dialéctica, métodos biométricos.

# GENETIC-BIOMETRIC ANALYSIS OF A COMMON BEAN DIALLEL IN THE PRESENCE OF ALUMINIUM

Eliza Kiyomi Beppu Hasegawa

Advisor: Manoel Carlos Gonçalves

## ABSTRACT

In this work were estimated the values of general (GCA) and specific (SCA) combining ability through Griffing's method, of heterosis (mean, varietal and specific) through Gardner and Eberhart's method and of gene action by Hayman's method, through diallel cross of five bean genotypes under aluminium condition, to auxiliary in the selection of parents to toxicity aluminium tolerance. The experimental design used was a completely randomized, with three replications. Pots of plastics with 2L of nutrient solution and one plant/pot (plot) were used. Five bean varieties (Xamego, Ouro Negro, Ouro, Pérola, Diamante Negro) and their respective  $F_1$ 's hybrids were evaluated, in a half-table diallel system in 0 and 50  $\text{mg.L}^{-1}$  of aluminium conditions. The following characteristics were evaluated: main root length, in cm (MRL), system root length, in cm (SRL), dry matter of aerial part, in g (DMAP) and dry matter of roots, in g (DMR). The higher positive effects of GCA, for MRL, SRL and DMAP were obtained by genitor Ouro Negro. Based on SCA, it was verified that promising hybrid combinations were obtained crossing the genitors Ouro Negro with Ouro, that had prominence in relation to the positive effects of SCA for all characters evaluated. Hybrid combinations between 'Ouro Negro x Ouro' and 'Xamego x Ouro Negro' showed the best estimates of SCA ( $s_{ij}$ ) for all characters, evidencing a high probability of to obtain a superior genotypes in the artificial crosses. The genitor Ouro showed the higher positive estimates of  $V_j$  for MRL, the genitor Perola for SRL and DMAP and the genitor Ouro Negro for DMR. Therefore, those genitors showed high potential *per se* or used for crosses, in relation toxicity aluminium tolerance ( $\text{Al}^{3+}$ ) in the dose of 50  $\text{mg.L}^{-1}$ . The genitor Perola, for performed and the genitor Ouro Negro, for genetic divergence were a good option to the plant breeding, in relation toxicity aluminium

tolerance. The hybrid combinations 'Ouro Negro x Ouro', 'Perola x Diamante negro' and 'Xamego x Ouro Negro' were indicated for to explore the heterotic effects to toxicity aluminium tolerance. Some evidences of epistasis were detected for DMAP and DMR characters, with the application of the Haymna's methodology. The dominance gene effects were more importants, and there was sobredominance for MRL and SRL. The genitor Xamego showed greater concentration of favourable alleles to toxicity aluminium tolerance for MRL and the genitors Perola and Ouro for SRL. The quotient b wasn't indicate, for all characters, the possibility of success to selection, because was enough influenced by the environment in their phenotypic expressions. The phenotypic and genotypic correlations between DMAP and DMR characters were positives and elevated in the aluminium presence and in the combined analysis, indicated that the aluminium effect in the roots affected the aerial part too.

## INTRODUÇÃO

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma espécie autógama, cultivada com maior ou menor expressão em todos os estados do Brasil, sob diferentes condições de clima, solo e manejo. A produtividade média da cultura é de 550 kg.há<sup>-1</sup>, apesar de ser possível, em condições de cultivo com alta tecnologia, obter produção de grãos superior a 3.000 kg.há<sup>-1</sup> (Kurek *et al.*, 2001).

Quando comparado às outras culturas, o feijoeiro detém uma das mais baixas produtividades. Segundo Ramalho *et al.* (1997), as causas para que isto ocorra, entre outras são as diversidades dos sistemas de cultivo, as dificuldades na mecanização agrícola, a suscetibilidade às pragas e fitopatógenos, o baixo índice de utilização de insumos e a suscetibilidade à estresse ambiental, notadamente ao estresse hídrico e à toxidez de alumínio.

A ocorrência de níveis de alumínio tóxico às plantas, principalmente em solos ácidos, tem sido relatada por muitos pesquisadores como sendo bastante comum na região dos cerrados brasileiros (Araújo *et al.*, 1992; Azevedo Filho e Santos, 1993; Azevedo Filho *et al.*, 1998; Ferreira *et al.*, 1999), o que a torna potencialmente estressante para os cultivos ali desenvolvidos.

O alumínio (Al<sup>3+</sup>) é o metal mais abundante da crosta terrestre, perfazendo cerca de 7% de sua massa. A potencialidade tóxica desse metal é considerável, visto que a maioria das culturas são sensíveis a este elemento (Lima Filho, 1999).

O alumínio é um constituinte das partículas de argila do solo e sua toxicidade é teoricamente possível na maioria dos solos onde o pH diminui para níveis suficientemente baixos (pH < 5,0), favorecendo a migração do alumínio para a fração trocável ou para a solução do solo, ficando pois, disponível às raízes das plantas (Mistro *et al.*, 2001).

Para as plantas, a alta saturação de alumínio acarreta conseqüências como restrição no desenvolvimento do sistema radicular; interferência na absorção, no transporte e no metabolismo de diversos nutrientes e na absorção de água (Olmos e Camargo, 1976). Deste modo, nos programas de melhoramento, para condições de solos ácidos, visa-se a obtenção de novos cultivares que possuam alta capacidade produtiva e tolerância à toxidez de alumínio, em condições de solo sob vegetação de cerrado.

Em seu estado natural, os solos sob vegetação de cerrado, apresentam baixa fertilidade devida a causas diversas e complexas, tais como acidez elevada, alta saturação de alumínio, baixos teores de nutrientes (cálcio, magnésio, fósforo e molibdênio) e baixo teor de matéria orgânica, fatores esses que limitam a sua utilização agrícola (Araújo *et al.*, 1992; Azevedo Filho e Santos, 1993; Azevedo Filho *et al.*, 1998). Quando as condições locais do solo não são ideais para o crescimento de determinada planta, existem duas opções básicas para se abordar o problema: alterar o solo ou alterar a planta (Parentoni *et al.*, 2001). A redução do efeito da acidez dos solos, com alumínio em níveis tóxicos e baixa disponibilidade de elementos essenciais, exige aplicações de calcário e fertilizantes.

As práticas de calagem e adubação apresentam eficiência somente na camada arável. Há de salientar, também, que o calcário é pouco móvel no solo, o que dificulta a correção da toxidez de alumínio nas camadas subsuperficiais, sobretudo pela falta de equipamento e/ou pelo custo operacional proibitivo da incorporação em profundidades superiores a 20 cm. Assim, o subsolo pode permanecer ainda ácido, restringindo o crescimento das raízes em profundidade, o que provoca decréscimo na tolerância à seca e no uso dos elementos minerais do subsolo. Contudo, o uso do calcário, associado a cultivares que toleram altos níveis de saturação de alumínio é uma alternativa que pode tornar muito mais eficiente a utilização desses solos, principalmente, visando o maior aprofundamento do sistema radicular (Azevedo Filho e Santos, 1993; Azevedo Filho *et al.* 1998; Parentoni *et al.*, 2001).

Entre os mecanismos pelos quais se pode incrementar a produção da cultura numa região, a utilização de cultivares melhoradas é a única forma que não implica custos adicionais para o agricultor. Todavia, os programas de melhoramento têm revelado algumas deficiências sobre o conhecimento dos parâmetros genéticos responsáveis pelo caráter produtividade e tolerância à toxidez de alumínio.

O sucesso de um programa de melhoramento depende da eficiência na seleção dos genitores, com a finalidade de serem utilizados em cruzamentos. Para o melhoramento genético de plantas é de fundamental importância a obtenção de informações sobre o potencial genético das cultivares, bem como sua capacidade de combinação, que resultem em híbridos produtores de populações segregantes

promissoras. Um dos métodos genético-estatísticos utilizado com essa finalidade é o cruzamento dialélico.

O método de cruzamentos dialélicos constitui uma alternativa importante para a obtenção, após uma única geração, de grupos de indivíduos de diferentes graus de parentescos, necessários à investigação das propriedades genéticas de caracteres métricos de maior interesse para o melhoramento (Nunes, 1998; Miranda Filho e Gorgulho, 2001).

A análise de experimentos dialélicos produz informações para a estimação da capacidade combinatória, da heterose e da ação gênica, que podem ser usadas como critério para a seleção de genitores. Além disso, proporciona dados para testes de hipótese e verificação de adequação de modelos genético-estatísticos (Ramalho *et al.*, 1993; Nunes, 1998; Miranda Filho e Gorgulho, 2001; Cruz, 2001; Cruz e Regazzi, 2001).

A heterose, ou vigor híbrido, ocorre quando o híbrido  $F_1$  se situa acima da média de seus genitores, geralmente, este termo se aplica a tamanho, velocidade de crescimento ou caracteres agrônômicos (Borém, 2001). O método de Gardner e Eberhart (1966) apresenta-se como alternativa viável, por permitir estudo detalhado da heterose, mediante parametrização analítica (Cruz e Regazzi, 2001).

As parametrizações heteróticas (heterose média, varietal e específica) de oito características agrônômicas das variedades de feijoeiro, foram estimadas por Barelli *et al.* (2000) para avaliarem o potencial *per se* dos genitores e os efeitos heteróticos nas combinações híbridas e verificaram que ocorreu uma suficiente variabilidade genética entre os genitores avaliados para a maioria das características.

A capacidade geral de combinação (CGC) é definida como o desempenho médio de uma linhagem em combinações híbridas (Sprague e Tatum, 1942; citados por Miranda Filho e Gorgulho, 2001). Está relacionada a efeitos aditivos, representando o comportamento médio dos pais em combinações híbridas (Ferreira *et al.*, 2002).

A capacidade específica de combinação (CEC) designa os casos em que uma linhagem, em combinação híbrida com uma ou mais linhagens específicas, tem desempenho melhor ou pior do que seria esperado com base no desempenho médio das linhagens envolvidas (Sprague e Tatum, 1942; citados por Miranda Filho e Gorgulho, 2001). Está relacionada aos efeitos gênicos não aditivos, caracterizando os desvios de

combinações híbridas em relação ao comportamento médio dos pais (Ferreira *et al.*, 2002).

A CGC e CEC podem ser estimadas através do método de Griffing (1956). Vários trabalhos mostraram que o efeito aditivo (relacionado à CGC) foram mais importante que os efeitos não-aditivos (relacionado à CEC), para todos os caracteres agronômicos avaliados (Azevedo Filho e Santos, 1993; Rodrigues *et al.*, 1998; Kurek *et al.*, 2001; Cançado *et al.*, 2002).

As metodologias de análise dialélica tem por finalidade analisar o delineamento genético definido e prover estimativas de parâmetros genéticos úteis na seleção de genitores para hibridação e no entendimento da natureza e magnitude dos efeitos genéticos envolvidos na determinação dos caracteres (Cruz, 2001).

As metodologias de análise dialélica mais comumente utilizadas são propostas por Griffing(1956), em que são estimados os efeitos e as somas de quadrados de efeitos da capacidade geral e específica de combinações e a proposta por Gardner e Eberhart (1966), na qual são avaliados os efeitos de variedades e heterose varietal (Cruz e Regazzi, 2001).

Em programas de melhoramento há grande preocupação em realizar uma escolha criteriosa das cultivares a serem cruzados, para que o êxito do programa não seja, logo de início, comprometido. Nesta escolha, tem sido dada ênfase ao comportamento *per se*, à capacidade combinatória e à divergência genética entre os genitores disponíveis, os quais podem ser avaliados por meio de análises dialélicas. Assim, além de serem úteis no processo de seleção de genitores, as análises dialélicas informam sobre importantes fenômenos genéticos, como heterose, controle genético dos caracteres e limites teóricos de seleção (Cruz, 2001).

O trabalho teve como objetivo estimar os valores da capacidade geral de combinação (CGC), capacidade específica de combinação (CEC), pelo método de Griffing (1956) e da heterose, pelo método de Gardner e Eberhart (1966) de genótipos de feijoeiro por meio de cruzamentos dialélicos na presença de alumínio, visando auxiliar na seleção de genitores para cruzamentos e posterior extração de linhagens promissoras para tolerância à toxidez de alumínio.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Os trabalhos de obtenção dos híbridos e avaliação dos genitores e seus híbridos, foram realizados no Núcleo Experimental de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, localizado no município de Dourados.

Os híbridos foram obtidos por meio de cruzamentos artificiais, empregando-se o método "sem emasculação dos botões florais" (Borém e Peternelli 1997). O esquema de cruzamento dialélico utilizado foi o de dialelos balanceados de meia tabela considerando apenas os híbridos F<sub>1</sub>'s e os genitores, conforme Cruz e Regazzi (2001).

Os híbridos e seus genitores foram avaliados em condições de casa de vegetação, sob condições contrastantes de dose de alumínio, em solução nutritiva, no período de outubro a novembro de 2002. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com os 15 genótipos com três repetições. O experimento foi desenvolvido em dois ambientes (doses de 0 e 50 mg.L<sup>-1</sup> de Al<sup>3+</sup> na forma de AlCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O). Os 15 genótipos eram formados pelos 10 possíveis híbridos F<sub>1</sub>'s, sem considerar os recíprocos, e cinco genitores de feijoeiro, sendo Ouro Negro, Diamante Negro e Xamego considerados como de boa tolerância ao alumínio tóxico e Pérola e Ouro suscetível, mas com boas produtividades. As variedades foram escolhidas como genitores para o cruzamento dialélico com base em literatura sobre tolerância às condições químicas dos

solos sob vegetação de cerrado e, também, em outras características de interesse agrônômico.

As doses de alumínio foram definidas de acordo com um experimento realizado previamente, onde a dose de alumínio que mais discriminou as cultivares, com base nos valores de F ficou entre 45 e 60 mg.L<sup>-1</sup>, optando-se por utilizar neste experimento a dose de 50 mg.L<sup>-1</sup> de Alumínio.

Conforme recomenda Martinez (1999), os vasos utilizados para o cultivo hidropônico foram de plásticos de 2L com tampa, pintados com tintas de alumínio, para evitar a entrada de luz e o aquecimento excessivo da solução nutritiva. A tampa tinha dois orifícios, um de maior diâmetro para as plantas e o outro de menor diâmetro para as mangueiras de aeração. A aeração foi realizada injetando-se ar comprimido constantemente aos vasos por meio de um compressor. A fixação das plantas nos orifícios foi feita por espumas por ser mais versátil, deformando-se facilmente e permitindo o crescimento radial do caule.

As sementes dos 15 genótipos foram colocadas para germinar em bandejas com areia lavada e palha de arroz como cobertura e, cinco dias após a emergência, foi realizada a repicagem das plântulas selecionadas quanto à uniformidade de tamanho. As raízes das plântulas foram lavadas com água destilada e transferidas para os vasos de plásticos contendo a solução nutritiva.

A solução nutritiva utilizada foi a de Hoagland e Arnon (1950). No início, durante uma semana, utilizou-se a solução completa para adaptação das plantas e, então, fez-se a troca pelas soluções contendo as doses de alumínio, quando então utilizou-se "meia força" da solução de Hoagland e Arnon (1950). Foram realizadas duas trocas de solução com alumínio, cada troca foi realizada após dez dias. O pH da solução foi ajustado para  $4,0 \pm 0,2$  com NaOH 1N e HCl 0,1N.

Decorridos 20 dias em soluções nutritivas, as plantas foram coletadas e realizadas as seguintes medições: comprimento da raiz principal (cm) e comprimento do sistema radicular (cm). Depois as raízes foram separadas da parte aérea e lavadas em água destiladas e secadas em estufas com ventilação forçada à 60°C, durante 72 horas. Em seguida foram pesadas as massas secas das raízes e parte aérea (g).

As análises estatística e dialélica, foram realizadas para os quatro caracteres usando o aplicativo computacional GENES, desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa, UFV (Cruz, 2001).

Foram realizadas análises de variância individual, para a dose de 50 mg.L<sup>-1</sup> de alumínio, através do seguinte modelo estatístico, conforme Cruz (2001):

$$Y_{ij} = m + g_i + \varepsilon_{ij}$$

Em que:

$Y_{ij}$  : observação individual,  $i=1,2,\dots,g$  e  $j=1,2,\dots,r$ ;

$t$  : número de genótipos e  $r$  : número de repetições;

$m$  : média geral;

$g_i$  : efeito de tratamento,  $i=1,2,\dots,g$

$\varepsilon_{ij}$  : erro experimental.

Na análise dialélica foram estimados os efeitos da capacidade combinatória, pelo método proposto por Griffing (1956), e os das heteroses média, varietal e específica, pelo método de Gardner e Eberhart (1966), conforme Cruz (2001).

Na metodologia proposta por Griffing (1956), foram utilizados o método 2, modelo 1 (fixo). O efeito de genótipos foram considerados como fixo e decomposto em capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC). Neste caso, foi utilizado o seguinte modelo genético-estatístico:

$$Y_{ij} = m + g_i + g_j + s_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Em que:

$Y_{ij}$  : valor médio da combinação híbrida ( $i \neq j$ ) ou do genitor ( $i = j$ );

$m$  : média geral;

$g_i, g_j$  : efeitos da CGC do  $i$ -ésimo ou  $j$ -ésimo genitor ( $i, j = 1, 2, \dots, p$ ), respectivamente;

$s_{ij}$  : efeito da CEC para os cruzamentos entre os genitores de ordem  $i$  e  $j$ ;

$\varepsilon_{ij}$  : erro experimental médio associado à observação de ordem  $ij$ .

Outro método utilizado para a análise dialélica foi o de Gardner e Eberhart (1966) modelo 4, para avaliar os efeitos da heterose média, varietal e específica entre genitores e híbridos por meio do seguinte modelo genético-estatístico:

$$Y_{ij} = m + (v_i + v_j) / 2 + \theta(\bar{h} + h_i + h_j + s_{ij}) + \varepsilon_{ij}.$$

Onde:

$Y_{ij}$  : valor médio observado em um genitor ( $i = j$ ) ou em uma combinação híbrida ( $i \neq j$ );  
 $m$  : efeito da média;  
 $v_i$  e  $v_j$  : efeitos das variedades (genitores)  $i$  e  $j$ , respectivamente;  
 $\theta$  : coeficiente condicional da heterose ( $\theta = 0$ , quando  $i = j$  e  $\theta = 1$ , quando  $i \neq j$ );  
 $\bar{h}$  : efeito da heterose média;  
 $h_i$  e  $h_j$  : efeitos das heteroses das variedades  $i$  e  $j$ , respectivamente;  
 $s_{ij}$  : efeito da heterose específica do cruzamento entre  $i$ -ésimo e  $j$ -ésimo genitores;  
 $\varepsilon_{ij}$  : erro experimental médio;

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise de variância individual, na presença de alumínio, os quadrados médios para genótipos foram significativos pelo teste F para comprimento do sistema radicular ( $p < 0,01$ ), comprimento da raiz principal ( $p < 0,05$ ) e massa seca da parte aérea ( $p < 0,10$ ), havendo variabilidade genética nos genótipos usados como genitores e nos híbridos para esses caracteres. A ausência de significância para o caráter massa seca das raízes, se deve, provavelmente a baixa precisão experimental (Tabela 1). Essa baixa precisão experimental foi verificada também por Araújo *et al.* (1992).

**Tabela 1 - Resumo das análises de variâncias individuais na presença de alumínio, na dose de 50 mg.L<sup>-1</sup>, para comprimento da raiz principal (CRAP), comprimento do sistema radicular (CSRA), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca das raízes (MSRA), resultantes dos cruzamentos dialélicos entre cinco genitores de feijoeiro. Dourados - MS, 2003**

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios			
		CRAP	CSRA	MSPA	MSRA
Genótipos	14	9,9881*	52,4678**	4,3050 <sup>o</sup>	0,1057 <sup>ns</sup>
Resíduo	30	3,8748	15,8557	2,3107	0,1286
Média		9,9045	26,5956	5,4150	1,2254
CV(%)		19,29	14,95	29,44	32,45

<sup>o</sup>, \* e \*\* - Diferenças significativas nos níveis de 10%, 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.  
<sup>ns</sup> - Não significativo.

Para a realização da análise de variância por meio do método 2, modelo 1, de Griffing (1956) procedeu-se a decomposição do efeito de genótipos em CGC e CEC. Na Tabela 2 estão os resultados da análise de variância dos caracteres comprimento da raiz principal, comprimento do sistema radicular, massa seca da parte aérea e massa seca das raízes, obtidos nos cinco genitores e suas combinações híbridas, avaliados num dialelo balanceado de meia-tabela, na dose de 50 mg.L<sup>-1</sup> de alumínio.

Houve diferença significativa entre os genótipos para três caracteres avaliados (Tabela 2), permitindo a decomposição da soma de quadrado dos genótipos em soma de quadrado associados à capacidade geral e específica (CGC e CEC). Apenas para a massa seca das raízes, não foi verificada significância dos genótipos e da CGC ou CEC. No caráter comprimento da raiz principal, verificou-se efeitos significativos dos quadrados médios da CGC e CEC, indicando que ambos os efeitos gênicos, aditivos e não-aditivos, foram importantes como causa da variação genética entre as médias da tabela dialélica, portanto, para possível escolha dos genitores e combinações híbridas mais promissoras, para aumentar a expressão do caráter comprimento da raiz principal, contribuindo no aumento da absorção de água e nutrientes em profundidades e, assim, contribuindo para a tolerância à toxidez de alumínio.

**Tabela 2 - Resumo das análises de variâncias para comprimento da raiz principal (CRAP), comprimento do sistema radicular (CSRA), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca das raízes (MSRA), com capacidade geral e específica de combinação (CGC e CEC) e resíduo, segundo**

**método 2, modelo 1 de Griffing (1956) na dose de 50 mg.L<sup>-1</sup> de alumínio. Dourados-MS, 2003**

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios			
		CRAP	CSRA	MSPA	MSRA
Genótipos	14	9,9881*	52,4678**	4,3050°	0,1057 <sup>ns</sup>
CGC	4	12,6426*	29,510 <sup>ns</sup>	4,9449°	0,1197 <sup>ns</sup>
CEC	10	8,9262*	61,6505**	4,0409 <sup>ns</sup>	0,10012 <sup>ns</sup>
Resíduo	30	3,8748	15,8557	2,3107	0,1286
Média		9,9045	26,5956	5,4150	1,2254

°, \* e \*\* - Diferenças significativas nos níveis de 10%, 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

<sup>ns</sup> - Não significativo

Os valores dos quadrados médios referentes à CGC foram significativos, pelo teste F, para comprimento da raiz principal ( $p < 0,05$ ) e para massa seca da parte aérea ( $p < 0,10$ ). Isso indica, que os genitores diferem em relação à CGC e caracteriza que efeitos gênicos aditivos estão envolvidos no controle desses caracteres (Tabela 2), além do que a existência de efeitos gênicos aditivos permite supor a possibilidade de se obter novos cultivares derivados de populações segregantes a partir de cruzamentos com os genitores testados.

Para a CEC, os valores dos quadrados médios foram significativos, para os caracteres comprimento do sistema radicular ( $p < 0,01$ ) e para comprimento da raiz principal ( $p < 0,05$ ). Segundo Ramalho *et al.* (1993), a significância dos quadrados médios relativos à CEC indicam que os cruzamentos são heterogêneos por exibirem comportamentos diferentes do esperado com base na CGC de seus respectivos genitores, além de caracterizar que os efeitos gênicos não aditivos (dominância e, ou, epistasia) estão envolvidos no controle desses caracteres (Tabela 2).

Para os caracteres comprimento da raiz principal e massa seca da parte aérea, os quadrados médios da CGC foram maiores do que os da CEC, evidenciando a predominância dos efeitos gênicos aditivos no controle desses caracteres, o que facilita a identificação de genótipos com alelos favoráveis durante o processo de seleção (Mather e Jinks, 1984), sendo esses alelos mais facilmente fixados ao longo de sucessivas gerações (Carvalho *et al.*, 1999). Em relação ao caráter comprimento do sistema radicular houve a predominância dos efeitos gênicos não-aditivos (dominância e, ou epistasia), dificultando a identificação de indivíduos com maior concentração de

alelos favoráveis para esses caracteres, o que sugere que o caráter comprimento da raiz principal é mais adequado para seleção para tolerância ao alumínio. Esse fato é importante uma vez que esse caráter pode determinar o grau de aprofundamento do sistema radicular e, portanto, a capacidade de absorção de água e nutrientes pela planta.

De acordo com Cruz e Regazzi (2001), a obtenção de uma estimativa para  $g_i$ , positiva ou negativa, muito baixa, indica que a CGC do genitor com base em seus cruzamentos não difere muito da média geral dos cruzamentos dialélicos. Porém, quando as estimativas de  $g_i$ , positivas ou negativas, são elevadas, o genitor em questão é muito superior ou inferior aos demais genitores incluídos no dialelo, com relação ao comportamento médio dos cruzamentos.

As estimativas da capacidade geral de combinação ( $g_i$ ) de cada genitor para os caracteres estudados e o desvio-padrão (DP) entre dois genitores quaisquer encontram-se no Tabela 3.

**Tabela 3 - Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação ( $g_i$ ) de cinco genitores de feijoeiro, e desvio-padrão dos efeitos de dois genitores diferentes para comprimento da raiz principal (CRAP), comprimento do sistema radicular (CSRA), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca das raízes (MSRA), segundo método 2, modelo 1 de Griffing (1956), na dose de 50 mg.L<sup>-1</sup> de alumínio. Dourados-MS, 2003**

Genitores	Caracteres avaliados			
	CRAP	CSRA	MSPA	MSRA
1. Xamego	-1,0514	0,5276	0,3049	0,0628
2. Ouro Negro	0,7390	0,8514	0,0276	0,0650
3. Pérola	-0,4705	-0,2533	-0,0018	-0,0723
4. Ouro	0,7295	0,8371	-0,7952	-0,0905
5. Diamante Negro	0,0533	-1,9629	0,4645	0,0349
DP ( $g_i-g_j$ )	0,6075	1,2288	0,4691	0,1107

Em relação ao comprimento da raiz principal valores positivos na estimativa de  $g_i$  foram registrados pelos genitores Ouro Negro, Ouro e Diamante Negro (Tabela 3), o que indica uma possível contribuição no aumento em relação a essa característica. Entre os três genitores, o Ouro Negro seguido do Ouro foram considerados superiores, sendo as mais indicadas para a obtenção de híbridos visando à tolerância ao alumínio tóxico,

por apresentarem melhores estimativas de  $g_i$ , evidenciando seu maior potencial para incremento dessa característica, já o genitor Diamante Negro, devido ao baixo valor da estimativa de  $g_i$ , não diferiu da média geral dos cruzamentos. Os genitores Xamego e Pérola tiveram o valor de  $g_i$  negativos, sendo que o Xamego apresentou um alto valor negativo (Tabela 3), o que corresponde à uma diminuição do comprimento da raiz principal nos cruzamentos em que esses genótipos estiveram envolvidos, dificultando na absorção de água e nutrientes em maiores profundidades, em solos de cerrados.

Para comprimento do sistema radicular, os genitores Ouro Negro, Ouro e Xamego, respectivamente, foram os que obtiveram as maiores estimativas de CGC ( $g_i$  positivos), sugerindo, assim, seus maiores potenciais para incremento desse caráter e sugerindo a utilização desses genitores nos cruzamentos dos programas de melhoramento da cultura visando a tolerância ao alumínio, e o genitor Diamante Negro foi o que teve a pior estimativa de CGC ( $g_i$  negativos), devendo ser evitada.

O aumento do caráter comprimento do sistema radicular é importante para a seleção desses genitores, uma vez que aumenta a superfície radicular favorecendo, assim, a absorção de água e nutrientes em solos ácidos e, conseqüentemente, poderá promover um aumento na produtividade das plantas cultivadas nestes solos. O aumento do comprimento da raiz principal, pode aumentar a capacidade de absorção de água e de nutrientes em profundidades.

No caráter massa seca da parte aérea, Diamante Negro e Xamego, respectivamente, foram os genitores que tiveram valores positivos de  $g_i$ , o genitor Ouro teve o maior valor negativo de  $g_i$ . Já para massa seca das raízes, Ouro Negro e Xamego, tiveram valores positivos de  $g_i$  e para os genitores Ouro e Pérola as estimativas de  $g_i$  foram negativas (Tabela 3). Os aumentos dos caracteres massa seca da parte aérea e das raízes, devido aos valores positivos de  $g_i$ , também conferem maior tolerância ao alumínio tóxico. A seleção desses genitores para representarem os blocos de cruzamentos, para estudar a tolerância ao alumínio com base nesses caracteres, é um dos aspectos de extrema importância nos programas de melhoramento, visto que será o ponto de partida para a obtenção de novos cultivares.

As estimativas dos efeitos da CGC têm-se mostrado bastante úteis na escolha de genitores para utilização em programas de melhoramento intrapopulacional (Cruz e Regazzi, 2001). Considerando-se os resultados obtidos, pode-se inferir que o genitor

Ouro Negro teve todos os valores positivos na estimativa de  $g_i$  para todos os caracteres, o que indica uma possível contribuição desse genitor para tolerância ao alumínio tóxico. A sua utilização em cruzamentos, com o objetivo de promover esses caracteres, poderá contribuir para a produção de variedades com maior tolerância ao alumínio tóxico. O genitor Xamego, que apresenta  $g_i$  negativo apenas para comprimento da raiz principal, também pode apresentar bom potencial para ser utilizado em cruzamentos para tolerância ao alumínio.

Desta forma, o uso destes genitores (Ouro Negro e Xamego) em cruzamentos dialélicos é desejável, pois tem por objetivo produzir variedades com melhor desempenho para as condições de solos de cerrado, onde a presença de alumínio é considerada forte limitante ao desenvolvimento das plantas.

O genitor Pérola apresentou valores negativos da estimativa de  $g_i$  para todos os caracteres, indicando inferioridade em relação aos demais e sugerindo que sua utilização em cruzamentos provavelmente não resultaria em progênies superiores para tolerância ao alumínio. Entretanto, devido a sua boa adaptação e produtividade na região, poderia ser indicado para fazer parte de blocos de cruzamentos.

Deve-se ressaltar que as estimativas de  $g_i$  são válidas apenas para o conjunto de genitores testados nesse estudo. Se qualquer um dos genitores descritos aqui for utilizado em outro esquema dialélico, ou seja, em combinação com outros genótipos, a sua CGC poderá ser diferente, dependendo da estrutura genética dos demais genitores (Vencovsky e Barriga, 1992).

Na Tabela 4, encontram-se as estimativas dos efeitos da CEC ( $s_{ii}$  e  $s_{ij}$ ) dos caracteres avaliados e os desvios-padrão (DP) dos efeitos de dois híbridos  $F_1$  com e sem genitor comum e entre dois genitores.

O efeito da CEC é interpretado como o desvio do híbrido em relação ao que seria esperado com base na CGC de seus genitores. Deste modo, baixos valores de  $s_{ij}$  indicam que os híbridos apresentam um comportamento conforme o esperado com base nos valores da CGC, enquanto altos valores absolutos de  $s_{ij}$  indicam um desempenho melhor ou pior do que o esperado. As estimativas de  $s_{ij}$  evidenciam a importância dos genes com efeitos não-aditivos (Cruz e Regazzi, 2001).

As estimativas obtidas para  $s_{ii}$  apresentam grande significado genético, referindo-se ao efeito da capacidade de combinação do genitor com ele mesmo,

indicando a direção dos desvios de dominância do caráter. Os valores negativos para  $s_{ii}$  revelaram a ocorrência de desvios de dominância unidirecional e, como consequência, tem-se a manifestação de heterose positiva nas combinações híbridas. A magnitude de  $s_{ii}$ , por sua vez, indica a divergência genética do genitor  $i$  em relação à média dos outros genitores testados no dialelo. Quanto maior for o valor absoluto de  $s_{ii}$ , maior será o efeito da heterose varietal, que é manifestada em todos os seus híbridos (Cruz e Vencovsky, 1989; Cruz e Regazzi, 2001).

O genitor Pérola apresentou valores de  $s_{ii}$  positivo para os caracteres comprimento do sistema radicular, massa seca da parte aérea e das raízes, sendo o que proporcionou maior heterose varietal para esses caracteres, indicando ser um genitor de bom potencial para a seleção. O genitor Ouro Negro apresentou valores negativos altos de  $s_{ii}$  para todos os caracteres avaliados, indicando a existência de desvios de dominância unidirecional e, conseqüentemente, a manifestação de heterose positiva nas combinações híbridas para todos os caracteres, visando a tolerância ao alumínio (Tabela 4).

Para  $s_{ij}$ , valores de pequena magnitude são indicadores de que os híbridos  $F_1$ 's entre os genitores em questão apresentaram comportamento esperado com base na CGC dos genitores. Por outro lado, altos valores absolutos de  $s_{ij}$  indicam que o desempenho de um híbrido em particular é melhor ou pior em relação ao esperado com base na CGC dos genitores (Rodrigues *et al.*, 1998).

Quanto maior a magnitude e positiva dos valores de  $s_{ij}$ , melhor é a combinação híbrida, pois indica desvios de dominância favoráveis (Cançado *et al.*, 2002). Combinações híbridas superiores e intermediárias foram obtidas com o cruzamento entre 'Ouro Negro x Ouro' e 'Pérola x Diamante Negro', apresentando as maiores estimativas positivas da capacidade específica de combinação para o caráter comprimento da raiz principal, indicando que esses híbridos tiveram valores superiores ao esperado com base na CGC dos genitores. Em relação ao caráter comprimento do sistema radicular destacaram as combinações híbridas 'Xamego x Ouro Negro', 'Ouro Negro x Ouro', 'Pérola x Diamante Negro' e 'Ouro X Diamante Negro'. Para o caráter massa seca da parte aérea, as combinações híbridas 'Ouro Negro x Diamante Negro' e 'Xamego x Ouro Negro', apresentaram os maiores valores de  $s_{ij}$ . Para o caráter massa

seca das raízes, as combinações híbridas 'Xamego x Pérola', 'Xamego x Ouro Negro' e 'Ouro x Diamante Negro' foram os que apresentaram maiores valores de  $s_{ij}$ .(Tabela 4).

Para o híbrido 'Pérola x Diamante Negro' foram observados valores positivos e relativamente elevados de  $s_{ij}$  para os caracteres comprimento da raiz principal e comprimento do sistema radicular. Na combinação híbrida 'Ouro x Diamante Negro' observou-se valores positivos intermediários para comprimento do sistema radicular, massa seca da parte aérea e massa seca das raízes (Tabela 4).

A combinação híbrida 'Ouro Negro x Ouro' apresentou valores de  $s_{ij}$  positivos de intermediários a superiores para todos os caracteres avaliados. Já a combinação de 'Xamego x Ouro Negro', apresentou valores superiores para três caracteres (comprimento do sistema radicular, massa seca da parte aérea e das raízes) (Tabela 4).

**Tabela 4 - Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação ( $s_{ii}$  e  $s_{ij}$ ) de cinco genitores de feijoeiro para comprimento da raiz principal (CRAP), comprimento do sistema radicular (CSRA), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca das raízes (MSRA), segundo método 2, modelo 1 de Griffing (1956), na dose de 50 mg.L<sup>-1</sup> de alumínio. Dourados-MS, 2003**

Genitor ou Híbridos	Caracteres avaliados			
	CRAP	CSRA	MSPA	MSRA <sup>s</sup>
Xamego	0,7984	-1,1841	-0,9900	-0,2957
Ouro Negro	-0,8159	-6,4650	-1,6028	-0,1555
Pérola	-1,0302	0,7111	0,1382	0,0159
Ouro	-0,3302	-2,7031	-0,2190	-0,1394
Diamante Negro	0,4888	-3,2031	-1,1514	-0,1158
Xamego x Ouro Negro	-0,4254	7,9588	1,4299	0,2111
Xamego x Pérola	0,9174	-3,1031	1,0856	0,2230
Xamego x Ouro	-1,8159	-1,4936	-0,1740	0,1379
Xamego x Diamante Negro	-0,2730	-0,9936	-0,3617	0,0193
Ouro Negro x Pérola	-1,2731	1,5603	-0,5452	-0,0705
Ouro Negro x Ouro	3,6936	6,0493	0,5950	0,0990
Ouro Negro x Diamante Negro	-0,3635	0,4826	1,7256	0,0714
Pérola x Ouro	0,7698	-1,4127	-0,8766	-0,1416
Pérola x Diamante Negro	1,6460	4,6540	0,0596	-0,0426

Ouro x Diamante Negro	-1,9874	2,2636	0,8791	0,1836
-----------------------	---------	--------	--------	--------

---

A combinação híbrida 'Ouro Negro x Pérola' apresentou valores negativos intermediários de estimativas da CEC ( $s_{ij}$ ) para todos os caracteres avaliados, com exceção de comprimento do sistema radicular. Em relação ao caráter comprimento da raiz principal 'Ouro x Diamante Negro', apresentou o maior valor negativo de  $s_{ij}$ , apresentando um pior desempenho em relação ao esperado com base na CGC dos genitores (Tabela 4). Em relação ao caráter comprimento do sistema radicular, 'Xamego x Pérola', tiveram o maior valor  $s_{ij}$  negativo. Já em relação aos caracteres massa seca da parte aérea e das raízes o híbrido 'Pérola x Ouro', obteve valor negativo elevado de  $s_{ij}$  (Tabela 4).

Constata-se que os cruzamentos 'Xamego x Ouro Negro', 'Ouro Negro x Ouro' e 'Pérola x Diamante Negro', praticamente, apresentaram sempre as melhores estimativas da CEC para os caracteres avaliados, indicando grande probabilidade de se obter genótipos superiores utilizando-os nos cruzamentos artificiais, num programa de melhoramento para tolerância ao alumínio. É necessário ressaltar que os resultados obtidos são inerentes às condições testadas e não devem ser extrapolados para outros ambientes e populações.

Com base na metodologia proposta por Gardner e Eberhart (1966), na Tabela 5, é apresentada a análise de variância para variedades (genitores) e heterose, incluindo a decomposição desta última em heterose média, varietal e específica, em relação aos caracteres comprimento da raiz principal, comprimento do sistema radicular, massa seca da parte aérea e massa seca das raízes. Pode-se verificar que os quadrados médios foram significativos nos efeitos de genótipos para os caracteres comprimento da raiz principal ( $p < 0,05$ ), comprimento do sistema radicular ( $p < 0,01$ ) e massa seca da parte aérea ( $p < 0,10$ ). Para variedades foram significativos para comprimento da raiz principal ( $p < 0,05$ ) e massa seca da parte aérea ( $p < 0,10$ ). Houve efeito significativo da heterose para os caracteres comprimento da raiz principal ( $p < 0,05$ ) e comprimento do sistema radicular ( $p < 0,01$ ). Esses resultados evidenciam que as variedades não constituem um grupo homogêneo e que há manifestação da heterose em seus cruzamentos, para os caracteres citados anteriormente.

O desdobramento dos efeitos da heterose em heterose média, varietal e específica, revelou que, para a heterose média, as características comprimento do sistema radicular, massa seca da parte aérea e massa seca das raízes, mostraram-se significativos ( $p < 0,01$  e  $p < 0,05$ ). Em relação à heterose varietal, houve significância ( $p < 0,05$ ) para o caráter comprimento do sistema radicular. A heterose específica foi significativa ( $p < 0,05$ ) para os caracteres comprimento da raiz principal e comprimento do sistema radicular (Tabela 5).

A significância do quadrado médio para heterose média para os caracteres comprimento do sistema radicular ( $p < 0,01$ ), massa seca da parte aérea e massa seca das raízes ( $p < 0,05$ ) indica que há suficiente divergência genética entre os genitores estudados em relação a toxidez de alumínio, resultando numa situação favorável à aplicação do melhoramento genético. A variabilidade, embora existente, não provocou diferenças na resposta da heterose varietal e da heterose específica para massa seca da parte aérea e das raízes, indicando que não houve dispersão suficiente para expressar a significância heterótica (Tabela 5). Para o caráter comprimento do sistema radicular, observou-se que a heterose não foi a mesma para todas as variedades, devido à significância da heterose média ( $p < 0,01$ ) e varietal ( $p < 0,05$ ), e esta variação nas variedades foi causada pela heterose específica, que também foi significativa ( $p < 0,05$ ).

Para o caráter comprimento da raiz principal, mesmo havendo reduzida divergência genética entre os genitores, comprovada pela ausência de significância de heterose média, houve variabilidade suficiente para provocar efeito diferencial para a heterose específica (Tabela 5).

**Tabela 5 - Resumo das análises de variâncias para comprimento da raiz principal (CRAP), comprimento do sistema radicular (CSRA), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca das raízes (MSRA), segundo Gardner e Eberhart (1966), na dose de 50 mg.L<sup>-1</sup> de alumínio. Dourados-MS, 2003**

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios			
		CRAP	CSRA	MSPA	MSRA
Genótipos	14	9,9881*	52,4678**	4,3050°	0,1057 <sup>ns</sup>
Variedades (V <sub>j</sub> )	4	12,6426*	29,5109 <sup>ns</sup>	4,9449°	0,1197 <sup>ns</sup>
Heterose	10	8,9262*	61,6505**	4,0490 <sup>ns</sup>	0,1001 <sup>ns</sup>

Heterose Média (h)	1	0,7111 <sup>ns</sup>	148,4831**	13,1174*	0,4292*
Heterose Varietal (h <sub>j</sub> )	4	4,4699 <sup>ns</sup>	49,4839*	3,5412 <sup>ns</sup>	0,0864 <sup>ns</sup>
Heterose Específica (s <sub>ij</sub> )	5	14,1344*	54,0173*	2,6416 <sup>ns</sup>	0,3525 <sup>ns</sup>
Resíduo	30	3,8748	15,8557	2,3107	0,1286
Média		9,9045	26,5956	5,4150	1,2254
CV (%)		19,87	14,97	28,07	29,26

<sup>o</sup>, \* e \*\* - Diferenças significativas nos níveis de 10%, 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

<sup>ns</sup> - Não significativo

A significância da heterose específica para os caracteres comprimento da raiz principal e comprimento do sistema radicular constitui a principal parcela do efeito de dominância, provavelmente porque as frequências gênicas de pelo menos parte dos genitores diferem suficientemente ou porque houve efeito favorável nas complementações gênicas dos cruzamentos para tolerância ao alumínio à dose de 50 mg.L<sup>-1</sup>.

A Tabela 6 contém as estimativas dos efeitos de variedades (V<sub>j</sub>), de suas médias e os respectivos desvios-padrão (DP). Para comprimento da raiz principal, observou-se que os genitores Ouro, Ouro Negro e Diamante Negro, nesta ordem de magnitude, foram os que tiveram os valores positivos das estimativas de V<sub>j</sub>, para o caráter comprimento do sistema radicular; os genitores Pérola, Xamego e Ouro, nesta ordem de magnitude, foram os que destacaram com os valores positivos das estimativas de V<sub>j</sub>. Já para o caráter massa seca da parte aérea destacaram os genitores Pérola, Diamante Negro e Xamego, nesta ordem de valores de V<sub>j</sub>. Para massa seca das raízes, os genitores Ouro Negro, Diamante Negro e Pérola, nesta ordem de magnitude, foram os que tiveram os valores positivos de V<sub>j</sub> (Tabela 6).

Para o caráter comprimento da raiz principal, observa-se que o genitor Ouro apresentou as maiores estimativas positivas de V<sub>j</sub>, e o genitor Pérola, apresentou as maiores estimativas positivas de V<sub>j</sub> para comprimento do sistema radicular e massa seca da parte aérea, e o genitor Ouro Negro para massa seca das raízes (Tabela 6). Portanto essas variedades são as de maior potencial *per se* ou para serem utilizados em cruzamentos, para aumentar esses caracteres, o que demonstra o seu potencial em relação à tolerância ao alumínio tóxico (Al<sup>3+</sup>) na dose de 50 mg.L<sup>-1</sup>.

Tabela 6 - Estimativas dos parâmetros média e efeitos de variedades ( $V_j$ ) e seus desvios-padrão (DP) para comprimento da raiz principal (CRAP), comprimento do sistema radicular (CSRA), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca das raízes (MSRA), segundo Gardner e Eberhart (1966), na dose de  $50 \text{ mg.L}^{-1}$  de alumínio. Dourados-MS, 2003

Variedade ( $V_j$ )	Caracteres			
	CRAP	CSRA	MSPA	MSRA
Xamego	-1,13	2,44	0,38	-0,03
Ouro Negro	0,84	-2,19	-0,78	0,11
Pérola	-1,79	2,77	0,89	0,01
Ouro	1,31	1,54	-1,04	-0,18
Diamante Negro	0,77	-4,56	0,54	0,09
Média das variedades	9,73	24,03	4,65	1,09
DP	0,51	1,03	0,39	0,09
DP ( $V_i$ )	1,02	2,06	0,78	0,19
DP ( $V_i - V_j$ )	1,61	3,25	1,24	0,93

O genitor Ouro Negro, com seus valores negativos de  $V_j$ , não seria interessante para ser utilizado em hibridações visando aos caracteres comprimento do sistema radicular e massa seca da parte aérea, ou para exploração *per se*. O genitor Diamante Negro não seria recomendado para aumentar o caráter comprimento do sistema radicular, e o genitor Ouro para os caracteres massa seca da parte aérea e das raízes (Quadro 13).

As estimativas dos efeitos de heterose média, varietal e específica, bem como os desvios-padrão (DP) encontram-se no Tabela 7. Para o caráter comprimento da raiz principal, a ausência de efeito para a heterose média (h) demonstra que, no conjunto, essas variedades não são favoráveis para explorar o efeito de heterose em híbridos.

Em relação ao comprimento do sistema radicular, pode-se observar na Tabela 7 que os genitores Ouro Negro e Diamante Negro apresentaram efeitos heteróticos ( $h_j$ ) positivo, o mesmo não ocorrendo com sua estimativa de  $V_j$ , cujo valor foi negativo (Tabela 6). Assim, a seleção para o aumento do comprimento do sistema radicular deve ser praticada com base nas estimativas do efeito de variedades ( $V_j$ ), segundo Cruz e Regazzi (2001). Ainda em relação ao comprimento do sistema radicular, discrepâncias

entre os sinais de  $h_j$  e  $V_j$ , só não ocorreu para o genitor Ouro cujos sinais foram positivos para as ambas estimativas (Tabelas 6 e 7).

Por conseguinte, as variedades mais divergentes para o caráter comprimento do sistema radicular foram Pérola e Xamego cruzados com Ouro e Ouro Negro. Observou-se ainda, para esse caráter, um efeito adicional resultante de cruzamentos específicos, sendo as combinações 'Pérola x Diamante Negro', 'Xamego x Ouro Negro' e 'Ouro Negro x Ouro', nesta ordem, as que mais destacaram, por revelarem efeitos heteróticos positivos da heterose específica ( $s_{ij}$ ) (Tabela 7).

Combinações híbridas entre genitores de bom potencial genético e divergentes devem ser preferidas. Assim, para o caráter comprimento do sistema radicular, a escolha do genitor Pérola, pelo seu desempenho (Tabela 6), e do genitor Ouro Negro, pela sua divergência em relação aos demais genitores (Tabela 7), deve ser uma boa opção para o melhoramento na tolerância ao alumínio tóxico ( $Al^{3+}$ ).

Em relação ao caráter comprimento da raiz principal, houve efeito significativo para os cruzamentos específicos ( $s_{ij}$ ) (Tabela 7). Pelas estimativas de  $s_{ij}$ , constatou-se que as combinações híbridas 'Ouro Negro x Ouro', 'Pérola x Diamante Negro' e 'Xamego x Pérola', ao exibirem os maiores valores positivos, são as indicadas para explorar o efeito heterótico para aumentar esse caráter em relação à tolerância ao alumínio tóxico, aumentando, assim, a absorção de água e nutrientes em profundidades com o uso dessas combinações para o programa de melhoramento.

Tabela 7 - Estimativas dos efeitos de heterose média ( $h$ ), varietal ( $h_j$ ) e específica ( $s_{ij}$ ) e seus desvios-padrão (DP) para comprimento da raiz principal (CRAP), comprimento do sistema radicular (CSRA), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca das raízes (MSRA), segundo Gardner e Eberhart (1966), na dose de  $50 \text{ mg.L}^{-1}$  de alumínio. Dourados-MS, 2003

Efeitos	Caracteres			
	CRAP	CSRA	MSPA	MSRA
<b>Heterose Média (<math>h</math>)</b>	-	3,8534	1,1453	0,2072
DP ( $h$ )	-	1,2592	0,4807	0,1134
<b>Heterose Varietal (<math>h_j</math>)</b>				
Xamego	-	-1,6157	-	-
Ouro Negro	-	4,5456	-	-

Pérola	-	-3,8267	-	-
Ouro	-	0,1567	-	-
Diamante Negro	-	0,7400	-	-
DP ( $V_i$ )	-	1,5705	-	-
DP ( $V_i - V_j$ )	-	2,4832	-	-
<b>Heterose Específica (<math>s_{ij}</math>)</b>				
Xamego x Ouro Negro	-0,2889	5,0000	-	-
Xamego x Pérola	0,9111	-1,2778	-	-
Xamego x Ouro	-1,3555	-1,9445	-	-
Xamego x Diamante Negro	0,7334	-1,7778	-	-
Ouro Negro x Pérola	-2,3556	-3,2556	-	-
Ouro Negro x Ouro	3,0778	2,0778	-	-
Ouro Negro x Diamante Negro	-0,4333	-3,8223	-	-
Pérola x Ouro	0,0112	-0,6000	-	-
Pérola x Diamante Negro	1,4334	5,1333	-	-
Ouro x Diamante Negro	-1,7334	0,4667	-	-
DP( $s_{ij}$ )	0,8036	1,6256	-	-
DP( $s_{ij} - s_{ik}$ )	1,3123	2,6546	-	-
DP( $s_{ij} - s_{kl}$ )	0,9279	1,8771	-	-

\*Valores da heterose (média, varietal e específica) com significância no Quadro 12

## CONCLUSÕES

Os efeitos gênicos aditivos foram superiores aos de dominância para os caracteres comprimento da raiz principal e massa seca da parte aérea. Para o caráter comprimento do sistema radicular os efeitos de dominância se sobrepuseram aos de aditividade.

Com base na capacidade geral de combinação ( $g_i$ ), o genitor Ouro Negro pode ser considerado o genitor-elite para os caracteres comprimento da raiz principal, comprimento do sistema radicular e massa seca das raízes e, o Diamante Negro, para massa seca da parte aérea.

As combinações híbridas 'Ouro Negro x Ouro' e 'Xamego x Ouro Negro' praticamente, apresentaram as melhores estimativas da capacidade específica de combinação ( $s_{ij}$ ), indicando grande probabilidade de se obter genótipos superiores a serem utilizados em cruzamentos artificiais.

O genitor Ouro, apresentou as maiores estimativas positivas de  $V_j$  para comprimento da raiz principal, Pérola para comprimento do sistema radicular e massa seca da parte aérea e, o genitor Ouro Negro para massa seca das raízes, indicando que esses genitores apresentaram maior potencial "per se" ou para serem utilizados em cruzamentos em relação à tolerância ao alumínio tóxico ( $Al^{3+}$ ) na dose de  $50 \text{ mg.L}^{-1}$ .

A escolha do genitor Pérola, pelo seu desempenho e do genitor Ouro Negro, pela sua divergência genética deve ser uma boa opção para o melhoramento em relação à tolerância ao alumínio tóxico ( $Al^{3+}$ ).

As combinações híbridas 'Ouro Negro x Ouro' 'Pérola x Diamante Negro' e 'Xamego x Ouro Negro', são indicadas para explorar o efeito heterótico para tolerância ao alumínio tóxico ( $Al^{3+}$ ).

## **AGRADECIMENTOS**

Á CAPES, pela concessão de bolsa de mestrado para a realização deste trabalho e aos funcionários de campo e de laboratório do Núcleo Experimental de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

## **ABSTRACT**

In this work were estimated the values of general (GCA) and specific (SCA) combining ability through Griffing's method (1956) and of heterosis through Gardner and Eberhart's method(1966), through diallel cross under aluminium condition, to auxiliary in the selection of parents to toxicity aluminium tolerance. The experimental design used was a completely randomized, with three replications. Pots of plastics with 2L of nutrient solution and one plant/pot (plot) were used. Five bean varieties and their respective F<sub>1</sub>'s hybrids were evaluated, in a half-table diallel system in 0 and 50 mg.L<sup>-1</sup> of aluminium conditions. The following characteristics were evaluated: main root length (MRL), system root length (SRL), dry matter of aerial part (DMAP) and dry matter of roots (DMR). The higher positive effects of GCA, for MRL, SRL and DMAP were obtained by genitor Ouro Negro. Based on SCA, the hybrid combinations between 'Ouro Negro x Ouro' and 'Xamego x Ouro Negro' showed the best estimates of s<sub>ij</sub> for all characters, evidencing a high probability of to obtain a superior genotypes in the artificial crosses. The genitor Perola for SRL and DMAP and the genitor Ouro Negro for DMR. The genitor Perola, for performed and the genitor Ouro Negro, for genetic divergence were a good option to the plant breeding, in relation toxicity aluminium tolerance. The hybrid combinations 'Ouro Negro x Ouro', 'Perola x Diamante negro' and 'Xamego x Ouro Negro' were indicated for to explore the heterotic effects to toxicity aluminium tolerance.

## REFERÊNCIAS

- Araújo, J. M. de; Santos, J. B. dos; Ramalho, M. A. P.; Guedes, G. A. A. 1992. Controle genético da tolerância do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) às condições dos solos sob vegetação de cerrado. *Ciência e Prática*. 16(2):189-196.

- Azevedo Filho, J. A. de; Santos, J. B. dos. 1993. Potencialidade de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) para o melhoramento visando a tolerância às condições químicas de solos ácidos de baixa fertilidade. *Ciência e Prática*. 17(1):49-57.
- Azevedo Filho, J. A. de; Vello, N. A.; Gomes, R. L. F. 1998. Estimativas de parâmetros genéticos de populações de soja em solos contrastantes na saturação de alumínio. *Bragantia*. 57(2):227-239.
- Barelli, M. A. A.; Vidigal, M. C. G.; Amaral Júnior, A. T. do; Vidigal Filho, P. S.; Scapim, C. A. 2000. Combining ability among six common bean cultivars adapted to the north west region of Parana State, Brazil. *Bragantia*. 59(2):159-164.
- Borém, A. 2001. Melhoramento de plantas. 3ed. Viçosa : UFV. 500p.
- Borém, A.; Peternelli, L. 1997. A. Hibridação artificial em feijão e soja. Viçosa : UFV. 43p.
- Cançado, G. M. de A.; Parentoni, S. N.; Borém, A.; Lopes, M. A. 2002. Avaliação de nove linhagens de milho em cruzamentos dialélicos quanto à tolerância ao alumínio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 37(4):471-478.
- CARVALHO, A. C. C. P.; LEAL, N. R.; RODRIGUES, R.; COSTA, F. 1999. A Capacidade de combinação para oito caracteres agrônômicos em cultivares de feijão-de-vagem de crescimento determinado. *Horticultura Brasileira*. 17(2):171.
- Cruz, C. D. 2001. Programas GENES : versão Windows; aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa : UFV. 648p.
- Cruz, C. D.; Regazzi, A. J. 2001. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 2. ed. ver. Viçosa : UFV. 390 p.
- Cruz, C. D.; Vencovsky, R. 1989. Comparações de alguns métodos de análise dialélica. *Revista Brasileira de Genética*. 12(2):425-438.
- Ferreira, M. A. J. da F.; Braz, L. T.; Queiroz, M. A. de; Churata-Masca, M. G. C.; Vencovsky, R. 2002. Capacidade de combinação em sete populações de melancia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 37(7):963-970.
- Ferreira, R. de P.; Cruz, C. D.; Sedyama, C. S.; Pinheiro, B. S. 1999. Herança da tolerância à toxidez de alumínio em arroz com base em análise dialélica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 34(4):615-621.
- Gardner, C. O.; Eberhart, S. 1966. A Analysis and interpretation of the variety cross diallell and related populations. *Biometrics*. 22:439-452.
- Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallell crossing systems. *Australy Journal Biological Science*. 9:463-493.

- Hoagland, D. R.; Arnon, D. I. 1952. The water culture method for growing plants without soil. Berkeley : California, Agricultural Experiment Station. 32p.
- Kurek, A. J.; Carvalho, F. I. F. de; Assmann, I. C.; Cruz, P. J. 2001. Capacidade combinatória como critério de eficiência na seleção de genitores em feijoeiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 36(4):645-651.
- Lima Filho, O. F. de. 1999. Resistência a fatores abióticos: desordens nutricionais. In: Destro, D.; Montalván, R. Melhoramento genético de plantas. Londrina : Ed. UEL, 1999. 820p.
- Martinez, H. E. P. 1999. O uso do cultivo hidropônico de plantas em pesquisa. 2 ed. Viçosa : UFV. 47p.
- Mather, K.; Jinks, J. L. 1984. Introdução à genética biométrica. Ribeirão Preto : Sociedade Brasileira de Genética. 242p.
- Miranda Filho, J. B.; Gorgulho, E. P. 2001. Cruzamentos com testadores e dialelos. p.649-671. In: Nass, L. L.; Valois, A., C. C.; Melo, I. S. de; Valadares-Iglis, M. C. Recursos genéticos e melhoramento de plantas. Rondonópolis : Fundação MT.
- Mistro, J. C.; Camargo, O. C. E. de; Pettinelli Júnior, 2001. A Avaliação de genótipos de trigo, de diferentes origens, em relação à toxicidade de alumínio. Bragantia. 60(3):177-184.
- Nunes, R. de P. 1998. Métodos para a pesquisa agrônômica. Fortaleza : UFC/Centro de Ciências Agrárias. 564 p.
- Olmos, J. I. L.; Camargo, M. N. 1976. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. Ciência e Cultura. 28(2):171-182.
- Parentoni, S. N.; Alves, V. M. C.; Milach, S. K.; Cançado, G. M. A.; Bahia Filho, A. F. C. 2001. Melhoramento para tolerância ao alumínio como fator de adaptação a solos ácidos. p.783-851. In: Nass, L. L.; Valois, A., C. C.; Melo, I. S. de; Valadares-Iglis, M. C. Recursos genéticos e melhoramento de plantas. Rondonópolis : Fundação MT.
- Ramalho, M. A. P. 1997. Melhoramento do feijoeiro. p.169-196. In: Simpósio Sobre a Atualização em Genética e Melhoramento de Plantas, Lavras, 1997. Minas Gerais.
- Ramalho, M. A. P.; Santos, J. B. dos; Zimmermann, M. J. de O. 1993. Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro. Goiânia : Editora da UFG. 271p.
- Rodrigues, R.; Leal, N. R.; Pereira, M. G. 1998. Análise dialéctica de seis características agrônômicas em *Phaseolus vulgaris* L. Bragantia, Campinas, v.57, n.2, 1998.

Vencovsky, R.; Barriga, P. 1992. Genética biométrica no fitomelhoramento. Ribeirão Preto : Sociedade Brasileira de Genética. 486p.