

Análises genéticas para seis minerais em dois cruzamentos de feijão caupi

Carlos Antonio Fernandes Santos¹; Danielle Carolina Campos da Costa²; Samila Samea da Silva Souza²; Layana Alves do Nascimento²

¹ Embrapa Semiárido. CP 23, 56302-970 Petrolina – PE. Email: casantos@cpatsa.embrapa.br. ²Bolsista PIBIC CNPq/Embrapa Semiárido. CP 23, 56302-970 Petrolina- PE. E-mails: daniellectarolina_58@hotmail.com, samila_upe@hotmail.com, layana_alves@hotmail.com

RESUMO

Parâmetros genéticos, herdabilidades e número mínimo de genes foram estimados para os minerais cálcio, zinco, ferro, fósforo, potássio e sódio em duas populações de feijão caupi, usando medias e variâncias dos parentais, F1s, F2s, BC1s e BC2s de dois cruzamentos de feijão caupi (*Vigna unguiculata*), para auxiliar no desenvolvimento de cultivares com altos teores de minerais. Valores transgressivos superiores a um dos parentais foram observados na F2 para todos os minerais avaliados, exceto sódio no cruzamento IT97K-1042-3 x BRS Tapaihum. Herdabilidades amplas e restritas apresentaram valores próximos para fósforo, potássio e sódio, enquanto algumas discrepâncias foram observadas para os outros minerais analisados nos dois cruzamentos. Os maiores valores das herdabilidades restrita e ampla foram observados para ferro, fósforo e potássio. As estimativas do número de genes foram próximas para todos os minerais analisados, exceto cálcio. As estimativas indicaram a presença de poucos genes controlando os minerais analisados, mesmo para cálcio. Efeitos aditivos importantes foram observados para ferro, fósforo e potássio, sendo que efeitos devido às interações epistáticas foram importantes para zinco e sódio. Esses dados sugerem que os teores dos minerais analisados podem ser aumentados de forma relativamente simples, aplicando-se métodos padrões de melhoramento de plantas autógamas.

PALAVRAS-CHAVE: *Vigna unguiculata*, parâmetros genéticos, número de genes.

ABSTRACT

Genetic analyzes of six minerals in two cowpea crosses

Genetic parameters, heritabilities and minimum number of genes were estimated for Calcium, Zinc, Iron, Phosphorus, Potassium and Sodium mineral contents using generation mean and variance analyzes of parent1, parent2, F1s, F2s, BC1s and BC2s data from two cowpea crosses (*Vigna unguiculata*), in order to help the development of cultivars with a high minerals profile. Transgressive values (superior to one parental) were observed in F2 population for all minerals, except Sodium, in the IT97K-1042-3 x BRS Tapaihum cross. Narrow and broad heritabilities presented closed values for Phosphorus, Potassium and Sodium, while some discrepancies were observed for the other minerals between the two crosses. The highest restricted and broad heritability values were estimated for Iron, Phosphorus and Potassium. The gene numbers were similar for all minerals, except calcium. Estimations indicated a low number of genes controlling all minerals, even for Calcium. Important additive effects were observed for Iron, Phosphorus and potassium, while epistatic interactions were important for Zinc and Sodium. These data suggest that cowpea minerals content can be improved with relative ease, applying standard breeding methods largely used on self-pollinated crops.

Keywords: *Vigna unguiculata*, genetic parameters, gene number.

Feijão caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] é a mais importante cultura de grãos na região semiárida brasileira. Essa região responde por, aproximadamente, 20% da produção mundial dessa espécie (FAO, 2011) e por 15% da produção nacional de feijões, desde que as estatísticas brasileiras não separem a produção de feijão caupi do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*). A produção

brasileira de feijão caupi é baixa, da ordem de 300 kg.ha⁻¹, devido principalmente ao baixo nível tecnológico, largo uso de sementes não melhoradas e condições de cultivo sem irrigação.

Os microminerais, como ferro e zinco, são necessários em pequenas quantidades diárias pelo organismo para a manutenção da normalidade metabólica e para o funcionamento adequado das células (Ribeiro et al., 2008). Deficiência na alimentação de micronutrientes afeta mais de dois bilhões de pessoas no mundo, principalmente em famílias pobres em países em desenvolvimento (Bouis & Welch, 2010).

Como revisado por Rios et al. (2009), a introdução de produtos agrícolas biofortificados, variedades melhoradas que apresentem maior conteúdo de minerais e vitaminas, além de complementar as intervenções em nutrição existentes, proporciona maior sustentabilidade e baixo custo para produtores e consumidores. O feijão caupi é cultivado no semiárido brasileiro devido a sua capacidade de tolerância ao estresse hídrico e a solos pobres, quando comparado com outras leguminosas importantes como feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.), sendo um dos principais componentes da dieta alimentar do nordestino, além de ser também um importante gerador de emprego e renda (Ribeiro, 2002).

Apesar da sua importância, poucos estudos têm sido publicados sobre o controle genético de minerais de feijão caupi, o que poderia ajudar no planejamento de projetos de melhoramento para elevar esse caráter. O número mínimo de genes para minerais no grão não foi ainda estimado para feijão caupi, o que poderia ser associado com trabalhos de mapeamento genômico, resultando no desenvolvimento de cultivares com alto teor de minerais pela seleção assistida por marcadores.

O objetivo do presente estudo foi estimar parâmetros genéticos, tais como herdabilidade, modelo de efeito de genes e número mínimo de genes para teor de minerais na semente em dois cruzamentos de feijão caupi, para auxiliar no desenvolvimento de novas cultivares com alto teor de minerais para a região do semiárido brasileiro.

MATERIAL E MÉTODOS

Gerações F1, F2 e retrocruzamentos foram obtidos de dois cruzamentos: 'IT97K-1042-3' x 'BRS Tapaihum' e 'IT97K-1042-3' x 'Canapu'. IT97K-1042-3 é uma cultivar do grupo fradinho, desenvolvida pelo International Institute for Tropical Agriculture (IITA) para o continente africano, apresentando teor de ferro de 65 ppm e zinco de 46 ppm (Singh, 2007). BRS Tapaihum é uma cultivar de grãos de tegumento preto, de porte ereto e crescimento determinado, tendo sido desenvolvida pela Embrapa Semiárido do cruzamento entre Epace 11 x 293588 para o vale do São Francisco. 'Canapu' é uma cultivar local, selecionada e mantida por agricultores do Piauí, e apresenta grãos de cor marrom claro.

Aproximadamente, 10 g de sementes de cada planta foram trituradas em moinho MA 630/1 (Marconi, Brasil) para obter uma farinha fina de cada amostra. As amostras de farinha foram analisadas em duplicatas, de acordo com procedimento padrão da Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1995). Foram preparados dois extratos para quantificação dos minerais: 1) Extrato A para Fe, Zn e Na. Após o resfriamento dos tubos digestores, acrescentou-se 49mL de água destilada e deionizada. As amostras para quantificação de Fe e Zn foram levadas para leitura em espectrofotômetro de absorção atômica de chama, marca Varian, enquanto Na foi determinado em fotômetro de chama, marca MicroNal (São Paulo, Brasil); e 2) Extrato B – K e Ca. Foi transferido 1mL do extrato A para Becker de 50mL, devidamente identificado de acordo com o número do protocolo das amostras. Completou-se com 49mL de óxido lantânio 0,1% e as amostras do extrato B para quantificação do potássio foram levadas para leitura em fotômetro de chama, marca MicroNal, enquanto o cálcio foi determinado em espectrofotômetro de absorção atômica de chama, marca Varian. Os resultados foram expressos em g.kg^{-1} para cálcio, fósforo e potássio e em mg.kg^{-1} para ferro, zinco e sódio de matéria seca dos grãos. Todas as análises foram realizadas no laboratório de solos da Embrapa Semiárido.

Os parâmetros genéticos, incluindo herdabilidades restritas e amplas, foram estimados com base nas médias e variâncias dos cruzamentos IT97K-1042-3 x Canapu e IT97K-1042-3 x BRS Tapaihum. Efeitos gênicos aditivos e devido aos desvios de dominância foram estimados por quadrados médios ponderados das médias das gerações para os minerais analisados em cada cruzamento. Todas as estimativas foram realizadas pelo programa Genes (Cruz, 2006), usando a opção gerações segregantes e não segregantes, do procedimento biometria. Os dados originais das análises de todos os minerais foram transformados para raiz quadrada mais um, para tornar todas as variâncias aditivas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As diferenças entre as médias dos parentais analisados foram maiores para cálcio, ferro e fósforo, enquanto as diferenças entre as médias dos parentais analisados foram moderadas para potássio e sódio, sendo que para zinco apenas os parentais IT97K-1042-3 e BRS Tapaihum apresentaram valores contrastantes (Tabela 1).

Os valores das médias dos parentais foram superiores aos valores reportados por Singh (2007) para cálcio, potássio, ferro, zinco e sódio (Tabela 1), indicando a possibilidade do desenvolvimento de linhagens com alto teor desses minerais. O parental IT97K-1042-3, desenvolvido pelo IITA (Singh, 2007), apresentou valores superiores para cálcio, ferro, fósforo e sódio quando comparado com as

outras duas cultivares desenvolvidas para o vale do São Francisco, sendo a linha do IITA uma boa fonte de alelos para desenvolvimento de cultivares com alto teor de minerais.

Valores transgressivos (superiores a um dos parentais) foram observados na F2 para todos os minerais avaliados, exceto sódio no cruzamento IT97K-1042-3 x BRS Tapaihum (Tabela 2), indicando a possibilidade do desenvolvimento de cultivares com teores de cálcio, zinco, ferro e potássio superiores aos reportados por Singh (2007).

Herdabilidades amplas e restritas apresentaram valores próximos para fósforo, potássio e sódio, enquanto algumas discrepâncias foram observadas para os outros minerais analisados nos dois cruzamentos (Tabela 2). Os maiores valores das herdabilidades restrita e ampla foram observados para ferro, fósforo e potássio (Tabela 2), sugerindo maior facilidade para aumento do conteúdo para esses minerais. Os valores das herdabilidades para zinco foram os que apresentaram a maior discordância entre os dois cruzamentos, devido, provavelmente a ausência de diferença entre os parentais no cruzamento IT97K-1042-3 x Canapu. Para esse mineral e considerando o cruzamento IT97K-1042-3 x BRS Tapaihum, os dados da herdabilidade indicam ampla possibilidade do aumento do zinco em cultivares de feijão caupi.

As estimativas do número de genes foram próximas para todos os minerais analisados, exceto cálcio (Tabela 2). As estimativas indicaram a presença de poucos genes controlando os minerais analisados, mesmo para cálcio, indicando que o desenvolvimento de cultivares com alto teor de minerais pode ser obtido com certa facilidade. As análises indicaram a importância do efeito médio dos parentais para todos os minerais analisados, que contribui com coeficientes de determinação superior a 68% nos dois cruzamentos de feijão, exceto para zinco. Efeitos aditivos importantes foram observados para ferro, fósforo e potássio, sendo que efeitos devido às interações epistáticas, foram importantes para zinco e sódio (Tabela 3).

As médias dos parentais e dos efeitos aditivos foram mais importantes (Tabela 3) indicando que aumentos nos valores dos minerais podem ser obtidos por métodos de melhoramento genealógico e 'single pod descent', os mais comumente aplicados em plantas autógamas, como o feijão caupi. O cruzamento de parentais divergentes, com altos teores de minerais, é também recomendado, desde que o efeito médio dos parentais contribuiu enormemente para os modelos de expressão gênica (Tabela 3). Apesar do teor de minerais em feijão caupi ser poligênico, o número de genes não foi elevado, variando de dois a menos de 10 nos dois cruzamentos analisados.

As herdabilidades, a presença dos efeitos da média dos parentais, dos efeitos aditivos e do reduzido número de genes envolvidos no controle genético do teor dos minerais Ca, Zn, Fe, P, Na e K analisados no presente trabalho indicam que o aumento dos teores dos mesmos pode ser obtido com certa facilidade, aplicando-se métodos de melhoramento largamente usados para plantas autógamas.

SANTOS CAF; COSTA DCC da; SOUZA, SS da S; NASCIMENTO LA do. 2012. Análises genéticas para seis minerais em dois cruzamentos de feijão caupi. *Horticultura Brasileira* 30: S4293-S4300.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro

REFERÊNCIAS

AOAC. 1995. *Official Methods of Analysis*. Arlington: AOAC

CRUZ CD. 2006. *Programa Genes: Biometria*. Viçosa: Editora UFV. 382p.

SINGH BB 2007. Recent progress in cowpea genetics and breeding. *Acta Horticulturae* 752:69-76

BOUIS HE, WELCH RM. 2010. Biofortification - A Sustainable Agricultural Strategy for Reducing Micronutrient Malnutrition in the Global South. *Crop Science* 50:S20-S32.

FAO. 2011. FAOSTAT – Production Crops.

RIBEIRO ND, JOST E, CERUTTI T, MAZIEIRO SM, POERSCH NL. 2008. Composição de microminerais em cultivares de feijão e aplicações para o melhoramento genético. *Bragantia* 67: 267-273.

RIOS AS; ALVES KR; COSTA NMB; MARTINO HSD. 2009. Biofortificação: culturas enriquecidas em micronutrientes pelo melhoramento genético. *Revista Ceres* 56: 713-718.



Table 1. Número de plantas (N), médias transformadas e sem transformação para raiz quadrada + 1 (Sqrt) e variâncias para seis gerações de dois cruzamentos de feijão caupi analisadas para teor de minerais nas sementes. (Plant numbers (N), means and variances with and without transformations for square root + 1 (Sqrt) for six cowpea generations of two crosses analyzed for mineral seed contents). Embrapa Semiárido, Petrolina, 2011.

Geração	IT97K-1042-3 (Pai1) x Canapu (Pai2)				IT97K-1042-3(Pai 1) x BRS Tapaihum (Pai2)			
	n	Média		Variância	n	Média		Variância
		Normal	Sqrt	Sqrt		Normal	Sqrt	Sqrt
Cálcio (g.kg⁻¹)								
Pai1	21	1,93	1,71	0,011	20	1,90	1,70	0,009
Pai2	35	1,29	1,51	0,015	31	1,18	1,47	0,007
F1	31	1,47	1,56	0,019	14	1,47	1,56	0,009
F2	203	1,12	1,45	0,027	138	1,24	1,49	0,026
BC1	20	0,62	1,27	0,002	37	1,47	1,56	0,007
BC2	84	1,11	1,45	0,011	25	1,61	1,60	0,028
Zinco (mg.kg⁻¹)								
Pai1	20	27,5	5,33	0,077	21	27,2	5,30	0,087
Pai2	30	27,9	5,35	0,195	34	30,7	5,63	0,063
F1	48	27,6	5,34	0,079	48	43,0	6,63	0,034
F2	202	28,6	5,41	0,219	134	32,1	5,72	0,319
BC1	18	34,3	5,94	0,084	37	44,9	6,77	0,037
BC2	85	31,2	5,66	0,106	30	28,7	5,42	0,292
Ferro (mg.kg⁻¹)								
Pai1	20	70,80	8,47	0,049	22	70,1	8,42	0,064
Pai2	39	53,82	7,40	0,043	34	51,4	7,23	0,078
F1	27	79,59	8,97	0,058	16	55,0	7,47	0,067
F2	198	67,16	8,23	0,373	137	55,7	7,51	0,199
BC1	18	70,06	8,42	0,171	32	56,7	7,58	0,177
BC2	85	48,31	7,01	0,147	30	55,9	7,53	0,111
Fósforo (g.kg⁻¹)								
Pai1	19	5,80	2,60	0,005	19	5,79	2,60	0,005
Pai2	36	4,01	2,23	0,004	33	4,69	2,38	0,004
F1	45	4,47	2,34	0,004	16	4,48	2,34	0,003
F2	197	4,42	2,32	0,017	140	5,56	2,55	0,018
BC1	20	5,29	2,51	0,006	39	5,48	2,54	0,008
BC2	79	4,16	2,27	0,007	28	5,75	2,59	0,018
Potássio (g.kg⁻¹)								
Pai1	23	14,35	3,92	0,016	23	14,3	3,90	0,016
Pai2	38	16,70	4,20	0,015	35	17,2	4,30	0,017
F1	47	17,01	4,25	0,015	17	17,3	4,30	0,007
F2	199	18,07	4,35	0,067	141	15,1	4,00	0,102
BC1	19	18,18	4,38	0,010	38	18,1	4,40	0,018
BC2	79	17,73	4,3	0,042	32	14,2	3,90	0,093
Sódio (mg.kg⁻¹)								
Pai1	22	140,3	11,9	0,080	22	140,3	11,8	0,080
Pai2	34	116,7	10,8	0,264	19	162,6	12,7	0,513
F1	43	110,6	10,5	1,777	15	64,4	8,0	1,201
F2	204	105,5	10,2	1,912	137	59,2	7,7	1,649
BC1	20	105,6	10,3	0,086	36	55,9	7,4	1,538
BC2	84	91,2	9,5	1,476	31	83,8	9,2	0,758

Tabela 2. Estimativas de parâmetros genéticos para cálcio, zinco, ferro, fósforo, potássio e sódio em duas populações de feijão caupi, com transformados dados originais para raiz quadrada +1. (Genetic parameter estimates for Calcium, Zinc, Iron, Phosphorus, Potassium and Sodium, with original data transformed for square root + 1). Embrapa Semiárido, Petrolina, 2011.

Parâmetros genéticos	Cruzamentos	
	IT97K-1042-3 x Canapu	IT97K-1042-3 x BRS Tapaihum
CÁLCIO		
Máximo valor na F2	3,2	2,6
Variância genotípica	0,011	0,012
Variância aditiva	0,042	0,006
Variância de dominância	- 0,031	0,006
Herdabilidade ampla e restrita (%)	41,4	56,2
Número de genes*	2,0	8,5
ZINCO		
Máximo valor na F2	46,0	46,0
Variância genotípica	0,111	0,264
Variância aditiva	0,247	0,308
Variância de dominância	- 0,136	- 0,043
Herdabilidade ampla e restrita (%)	50,8	82,8
Número de genes*	3,2	1,9
FERRO		
Máximo valor na F2	91,0	78,0
Variância genotípica	0,321	0,129
Variância aditiva	0,428	0,169
Variância de dominância	- 0,107	- 0,040
Herdabilidade ampla e restrita (%)	86,0	64,9
Número de genes*	2,2	3,8
FÓSFORO		
Máximo valor na F2	6,15	9,36
Variância genotípica	0,012	0,014
Variância aditiva	0,020	0,010
Variância de dominância	- 0,007	0,004
Herdabilidade ampla e restrita (%)	73,7	77,9
Número de genes*	2,9	10,4
POTÁSSIO		
Máximo valor na F2	21,5	18,1
Variância genotípica	0,052	0,089
Variância aditiva	0,083	0,092
Variância de dominância	- 0,031	- 0,002
Herdabilidade ampla e restrita (%)	76,8	88,3
Número de genes*	2,3	1,53
SÓDIO		
Máximo valor na F2	146,9	93,9
Variância genotípica	0,948	0,901
Variância aditiva	2,262	1,003
Variância de dominância	- 1,314	- 0,103
Herdabilidade ampla e restrita (%)	49,6	54,6
Número de genes*	2,0	3,0

*Baseado em variâncias

Tabela 3. Decomposição não ortogonal da soma de quadrados (QM) para minerais em dois cruzamentos de feijão caupi com dados de seis gerações: parentais, F1, F2 e retrocruzamentos (Analysis of variance by non-orthogonal mean square partitioning for minerals of two cowpea crosses using means of six generations: parental lines, F1, F2 and two backcross populations). Embrapa Semiárido, Petrolina, 2011.

Fonte de variação ¹	IT97K-1042-3 x Canapu		IT97K-1042-3 x BRS Tapaihum	
	QM	R ²	QM	R ²
Cálcio				
M	1153.60	67.6	181.52	59.1
A	42.12	2.5	72.77	23.7
D	136.80	8.0	10.91	3.6
AA	38.47	2.3	19.83	6.5
Ad	167.47	9.8	15.12	4.9
Dd	168.62	9.9	6.91	2.3
Zinco				
m	331.17	58.9	193.20	41.1
a	0.06	0.1	17.59	3.7
d	77.19	13.7	33.31	7.1
aa	56.67	10.0	26.79	5.7
ad	9.59	1.7	187.31	39.8
dd	87.15	15.0	12.32	2.6
Ferro				
m	1318.99	68.0	1079.56	77.7
a	319.09	16.4	274.24	19.7
d	68.69	3.5	0.34	0.1
aa	57.12	2.9	0.63	0.1
ad	63.04	3.2	34.02	2.4
dd	113.97	5.9	0.22	0.1
Fósforo				
m	1504.38	77.8	1091.00	85.1
a	381.61	19.7	129.71	10.1
d	10.55	0.5	7.44	0.6
aa	22.31	1.2	0.38	0.1
ad	5.40	0.3	27.85	2.0
dd	10.02	0.5	25.49	1.9
Potássio				
m	1672.33	93.3	500.85	67.9
a	74.97	4.1	103.33	14.0
d	12.90	0.7	5.84	0.8
aa	0.11	0.1	10.81	1.5
ad	29.51	1.6	115.28	15.6
dd	22.17	1.2	1.23	0.2
Sódio				
m	657.78	78.3	201.30	69.1
a	95.74	11.4	25.73	8.8
d	36.68	4.4	12.89	4.4
aa	6.20	0.7	14.80	5.1
ad	3.05	0.4	21.83	7.5
dd	40.18	4.7	14.60	5.0

m = efeito parental, a = efeito aditivo, d = efeito dominância, aa, ad, dd = efeito de interações epistáticas.