

Diversidade no teor de nutrientes em grãos de feijão crioulo no Estado de Santa Catarina

Tamara Pereira¹, Cileide Maria Medeiros Coelho^{2*}, Julio Cesar Pires dos Santos³, Amauri Bogo⁴ e David Jose Miquelluti³

¹Universidade do Oeste de Santa Catarina, Campos Novos, Santa Catarina, Brasil. ²Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Rua Admar Gonzaga, 1346, 88034-001, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. ³Departamento de Solos e Recursos Naturais, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, Santa Catarina, Brasil. ⁴Departamento de Agronomia, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, Santa Catarina, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: cileide@cca.ufsc.br

RESUMO. O feijão representa importante fonte de nutrientes, e pode ter seus teores aumentados com o uso de genótipos que apresentem naturalmente elevados teores destes nutrientes, como ocorre nos genótipos crioulos. O objetivo deste trabalho foi caracterizar 34 genótipos crioulos do Banco Ativo de germoplasma de Feijão do CAV-UDESC quanto ao teor de nutrientes (cálcio, magnésio, zinco, ferro, fósforo, potássio, proteína total e solúvel) e antinutriente (fitato) nos grãos, durante os anos de cultivo de 2005/2006 e 2006/2007. O teor de nutrientes nos grãos de feijão foi influenciado tanto pelo genótipo, quanto pelas condições climáticas, com respostas diferentes em cada ano de cultivo, e entre os dois anos de cultivo. Os genótipos crioulos BAF 60, 69 e 108 apresentaram os mais altos níveis de ferro, fósforo e proteína total, associados a baixos níveis de fitato nos grãos e são indicados para uso em programas de melhoramento e pelo próprio agricultor para produção e comercialização. Tais resultados apontam para a necessidade de trabalhos futuros que relacionem a interação entre diversidade genética e tempo de cultivo.

Palavras-chave: variabilidade genética, qualidade nutricional, germoplasma, análise multivariada.

ABSTRACT. Diversity in nutrient content of common bean seeds in the state of Santa Catarina. The common bean is an important source of nutrients. The amount of nutrients can be increased using common bean genotypes, which is naturally rich in nutrients. The objective of this work was to characterize the nutrient content (calcium, magnesium, zinc, iron, phosphorus, potassium and total and soluble protein) and antinutrients (phytate) of the 34 common bean genotypes of the CAV-UDESC Germplasm Active Bank, during the 2005/2006 and 2006/2007 crop seasons. The nutrient content of beans was influenced by both genotype and weather conditions in both crop seasons. BAF 60, 69 and 108 genotypes presented the highest levels of iron, phosphorus and total protein, along with the lowest levels of phytate in the grains, and are indicated for breeding programs and by producers. These results indicated the need to explore the interaction between diversity and crop growing seasons.

Keywords: genetic variability, nutrition quality, germplasm, multivariate analysis.

Introdução

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) constitui importante alimento, pela sua composição nutricional, porque apresenta elevados teores de minerais, vitaminas, carboidratos, fibras (BROUGHTON et al., 2003) e particularmente altos teores de proteína nos grãos, podendo atingir até 28,7% em feijões comerciais (SATHE, 2002) e 35,2% em feijões crioulos (SANTALLA et al., 2004).

Apesar de o feijão apresentar elevados teores de nutrientes nos grãos, a biodisponibilidade dos minerais, bem como das proteínas pode variar de acordo com alguns fatores, como os fitatos (BARRUETO-

GONZALEZ, 2008) e oxalatos, conhecidos pela sua capacidade de complexação com cátions bivalentes (cálcio, ferro, zinco, magnésio e cobre) e pela ausência da enzima fitase no trato digestivo dos animais monogástricos e humanos. Por outro lado, algumas pesquisas citam um aspecto positivo do efeito do fitato no organismo, pela sua ação como antioxidante e indiretamente pelos efeitos anticarcinogênicos (FANTINI et al., 2008). Além do feijão, alguns híbridos de milho foram caracterizados por possuírem elevados teores de ácido fítico nos germes de milho, que variam entre 6,65 e 9,33% (FUKUJI et al., 2008), e podem atuar na inibição de oxidação de produtos industrializados.

O consumo de feijão no Brasil depende principalmente de características morfológicas, como cor, formato e, tamanho da semente (CARNEIRO et al., 2005). No Estado de Santa Catarina, encontra-se ampla diversidade de genótipos de feijão que atende tanto os caracteres morfológicos da semente (PEREIRA et al., 2009) como os caracteres agrônômicos, os quais são mantidos em uso pelos agricultores de pequenas e médias propriedades, o que evidencia a importância dos genótipos crioulos de feijão no Estado como fonte de alimento e renda para a agricultura familiar.

O cultivo desses genótipos por estes pequenos e médios agricultores proporciona a conservação dos recursos genéticos do feijão crioulo, e existe a possibilidade desta diversidade genética ser explorada pelos programas de melhoramento da cultura do feijão, desde que sejam detalhadamente caracterizadas de acordo com os interesses agrônômicos (COELHO et al., 2007a; PEREIRA et al., 2009) de qualidade tecnológica (COELHO et al., 2007b) e nutricionais.

Os genótipos crioulos de feijão estão adaptados às condições ambientais e socioeconômicas dos agricultores e podem apresentar elevados teores de nutrientes nos grãos, como por exemplo, o ferro, que pode estar correlacionado positivamente com magnésio, zinco, fósforo e enxofre, e assim promover melhorias simultâneas nos teores de minerais nos grãos de feijão como foi constatado nos acessos provenientes do Centro Internacional de Agricultura Tropical (BEEBE et al., 2000).

Os genótipos crioulos ou tradicionais (ELIAS et al., 2007) de feijão, podem ser definidos como genótipos de feijão em uso pelos agricultores, que podem ser gerados a partir de cruzamentos naturais, e que, não passaram pelo processo de melhoramento genético.

Partindo da importância do feijão na alimentação humana, em especial a classe de baixa renda, verifica-se a necessidade de caracterizar como os nutrientes e antinutrientes que podem interferir na qualidade nutricional do grão, o que pode favorecer o uso das sementes dos genótipos crioulos de feijão pelos agricultores para consumo próprio ou para comercialização, ou serem indicados para os cruzamentos nos programas de melhoramento da cultura, trabalhos prévios já demonstraram o potencial de uso das cultivares crioulas para menor tempo de cocção (COELHO et al., 2007b) e para maior teor proteico (PEREIRA et al., 2009).

O uso dos genótipos crioulos é favorecido pela sua caracterização em diferentes anos de cultivo. Ao considerar a ampla base genética do genótipo crioulo, sabe-se que a resposta às condições

ambientais pode ser também alterada. Neste sentido, observa-se efeito tanto das variações climáticas como do genótipo ou do próprio local sobre o acúmulo diferenciado na composição nutricional do feijão (LEMONS et al., 2004; RANGEL et al., 2007).

Além de poucos estudos com genótipos crioulos no sentido de caracterizá-los quanto ao teor de nutrientes nos grãos, muito menos se sabe da variação destes em função da variação do ano de cultivo. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi caracterizar os genótipos crioulos do Banco Ativo de Feijão do CAV-UDESC quanto ao teor de nutrientes e antinutrientes (fitato) nos grãos, e suas respectivas respostas em função de dois anos de cultivo.

Material e métodos

Os experimentos foram conduzidos na mesma área experimental, nos anos agrícolas 2005/2006 e 2006/2007, no município de Lages, Estado de Santa Catarina. As coordenadas geográficas da área são 27°52'30" de latitude Sul e 50°18'20" de longitude Oeste, com altitude média de 930 m (EPAGRI, 2011). Os dados climáticos referentes às fases de florescimento e formação das vagens encontram-se na Figura 1.

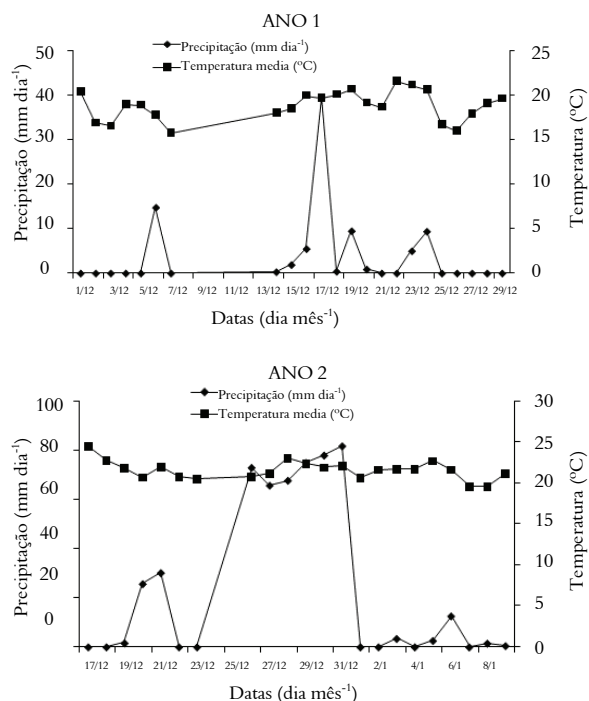


Figura 1. Precipitação pluvial (mm dia⁻¹) (◆) e temperatura média (■) (n = 4), ocorridas na fase de florescimento e formação das vagens, da cultura de feijão, durante o ano 1 (2005/2006) e o ano 2 (2006/2007).

Os 34 genótipos de feijão utilizados neste trabalho foram provenientes do Banco Ativo de Feijão (BAF) da Universidade do Estado de Santa

Catarina (UDESC), sendo cinco cultivares comerciais: BAF112 (IPR-88-Uirapuru), BAF115 (BRS-Valente), BAF111 (Pérola), BAF121 (Iapar 81) e BAF110 (Guará) e 29 cultivares crioulas. Grande parte dos genótipos (65%) do BAF foi previamente caracterizado, quanto a parâmetros bioquímicos e morfológicos relacionados à semente (PEREIRA et al., 2009).

A semeadura dos genótipos foi efetuada manualmente, usando delineamento em blocos ao acaso, com três repetições. As parcelas foram compostas por quatro fileiras de 3 m de comprimento espaçadas com 0,5 m entre si, sendo a área útil composta pelas duas linhas centrais e descartado 0,5 m nas extremidades superior e inferior da parcela. A adubação da área experimental foi realizada após análise de solo nos dois anos de cultivo (2005/2006 e 2006/2007) de acordo com as recomendações para a cultura do feijoeiro (CQFS-RS/SC, 2004).

As sementes foram colhidas manualmente na maturidade de colheita, acondicionadas em sacos de papel, secas em estufa de 30°C por 72h, padronizadas para aproximadamente 12% de umidade e posteriormente armazenadas em câmara fria, com temperatura constante de $\pm 8^\circ\text{C}$ e umidade relativa (UR) de $\pm 40\%$. A partir de uma amostra representativa das sementes de cada repetição do ensaio a campo (3) foram avaliados os teores de cálcio, magnésio, potássio, fósforo, zinco, ferro, fitato, proteína total e proteína solúvel nos grãos de feijão dos dois anos de cultivo.

As sementes foram moídas em liquidificador industrial revestido de inox, com espessura aproximada de 40 mesh, e armazenadas a $\pm 8^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $\pm 40\%$. As amostras armazenadas foram analisadas quanto ao teor de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K) após digestão sulfúrica; e os teores de zinco (Zn), ferro (Fe) e fósforo (P) após digestão nitroperclórica. As alíquotas de amostras provenientes de ambas as digestões foram diluídas (Ca, Mg, Zn e Fe) para leitura em espectrofotometria de absorção atômica. Enquanto o fitato e o fósforo foram determinados pela colorimetria, segundo Latta e Eskin (1980) e Malavolta et al. (1989), respectivamente. O teor de potássio foi determinado a partir de uma alíquota de digestão sulfúrica pelo uso de fotômetro de chama (TEDESCO et al., 1995).

Para determinação da proteína total, o método utilizado foi segundo Kjeldahl (AOAC, 1995), o qual se baseia no conteúdo de nitrogênio na amostra. A determinação de proteína total foi realizada seguindo a fórmula: % de proteína = conteúdo de N x 6,25.

A extração da proteína solúvel foi realizada segundo (BROWN et al., 1981), e quantificada pela comparação com uma curva-padrão de BSA (fração 5-soro de albumina bovino) de acordo com o método de Bradford (1976).

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa GENES (CRUZ, 2001). Realizou-se inicialmente, análises de variância univariada para todas as variáveis estudadas nos dois anos considerados. Para efeito destas análises, os efeitos de ano e genótipos foram considerados como fixos. Para comparação as médias entre os diferentes genótipos foi utilizado o teste de Scott-Knott, com nível de significância de 5% em cada ano de cultivo, enquanto para a comparação dos diferentes anos de cultivo realizou-se o teste T a 5% de probabilidade.

As técnicas multivariadas foram realizadas por meio das distâncias generalizadas de Mahalanobis usadas como medidas de dissimilaridade, a fim de avaliar a divergência genética entre os genótipos. Para agrupar os genótipos foi utilizado o método aglomerativo de Tocher. A importância relativa dos caracteres para a divergência genética entre os genótipos foi analisada de acordo com a metodologia de (SINGH, 1981). O descarte das variáveis que apresentaram menor contribuição para a variabilidade genética também foi efetuado (CRUZ; REGAZZI, 2004).

Resultados e discussão

A análise univariada dos nutrientes nos grãos (ferro, zinco, cálcio, fósforo, fitato, magnésio, potássio, proteína total e solúvel) em cada ano e entre anos de cultivo demonstrou variabilidade fenotípica para alguns genótipos avaliados, conforme foi observado nas Tabelas 1 e 2.

A variabilidade verificada destaca a importância da caracterização destes genótipos, que possibilita obtenção de ganhos genéticos em programas de melhoramento, visto que na literatura observa-se apenas ampla diversidade quanto aos caracteres agronômicos em germoplasma de feijão (ABREU et al., 2004; COELHO et al., 2007a), quanto aos teores de fibra (RIBEIRO et al., 2008a) e proteína total (SANTALLA et al., 2004).

Os teores médios de ferro nos grãos variaram entre 62 a 124 e 77,8 a 161,7 mg kg⁻¹ nos dois anos de cultivo, respectivamente (Tabela 1). Estes resultados foram similares aos obtidos em linhagens (71,37 a 126,9 mg kg⁻¹) (MESQUITA et al., 2007), e superiores a trabalhos com cultivares de feijão comerciais (60 a 96 mg kg⁻¹) e 1.031 acessos provenientes do Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) (55 a 89 mg kg⁻¹) (BEEBE et al., 2000), o que qualifica os

genótipos crioulos com elevados teores de Fe, particularmente os BAFs: 36, 39 e 108 (Tabela 1).

Além da importância do ferro como nutriente na dieta humana, o zinco é considerado um micronutriente essencial para o homem, e pode variar seu conteúdo de acordo com o ambiente, genótipo, tipo de solo (RIBEIRO et al., 2008b). Foi observada uma variação de 32 a 66 mg kg⁻¹ de zinco nos grãos para o ano 1, e 34 a 68 mg kg⁻¹ no ano 2 (Tabela 1) e estes valores foram superiores ao encontrado por outros autores (HOUSE et al., 2002; BEEBE et al., 2000). Além disso, alguns autores sugerem que o conteúdo de ferro e zinco dos grãos de feijão pode ser incrementado entre 60 a 80% para o ferro, e 50% para o zinco (BEEBE et al., 2000), o que favorece a indicação dos BAFs 10 e 108 promissores para estas características.

Os teores de cálcio nos grãos de feijão variaram de acordo com os genótipos e com o ano de cultivo, entre 0,25 a 0,95 g kg⁻¹ no ano 1, estes resultados estão inferiores aos encontrados em 21 linhagens de feijões, em que se observou uma faixa entre 0,30 a 2,8 g kg⁻¹ de cálcio (MESQUITA et al., 2007), bem como os resultados observados em feijões coletados no México (GUZMÁN-MALDONADO et al., 2000), e similares aos obtidos em cruzamentos por (JOST et al., 2009).

Quanto ao teor de proteína total, no ano 2, observou-se que os genótipos crioulos BAFs: 3, 7, 13, 25, 36, 39, 40, 41, 44, 46, 58, 75 e 108 apresentaram teores superiores aos genótipos comerciais BAFs: 111, 112 e 115 (Tabela 2), com exceção em relação aos comerciais BAFs 110 e 121. No entanto, se considerar a proteína solúvel do ano 2, observou-se um número grande de cultivares crioulas que não deferiram das comerciais (36, 40, 44, 50, 55, 57, 58, 60, 62, 67, 69, 74 e 108). Os genótipos coincidentes no alto teor de proteína total e no baixo teor de proteína solúvel (36, 40, 44, 58 e 108) merecem atenção especial para trabalhos futuros, pelo fato de que o baixo teor de proteína solúvel pode ser um indicativo do melhor aproveitamento do nitrogênio disponível para incorporar em proteína total, pois o nitrogênio é armazenado temporariamente em aminoácidos livres e outros compostos não proteicos durante o desenvolvimento da semente para posterior armazenamento na forma de proteína total (COELHO et al., 2009) ou ainda podem ser estudados quanto ao metabolismo de nitrogênio em função do fornecido em cobertura em diferentes sistemas de manejo, o aumento da dose de nitrogênio proporcionou maior teor de nitrogênio foliar (FRANCO et al., 2008).

Além dos genótipos promissores para os teores de proteína total, constatou-se variação nos teores de

proteína total conforme o ano de cultivo, tanto para os genótipos crioulos como para comerciais (BAFs: 111, 112 e 115) (Tabela 2), o que indica que esta variação independe da base genética encontrada nos genótipos. Tais variações foram mais dependentes do ambiente, como verificado por outros autores com caracteres de rendimento de grãos, coloração do tegumento e ciclo de feijões crioulos (RIBEIRO et al., 2008a).

O teor de fitato no ano 2 foi o caractere que apresentou maior variabilidade entre os genótipos, formou sete grupos diferentes (grupos de a - g), de acordo com o teste de Scott-Knott (Tabela 2). Estes teores variaram entre 2,38 a 8,01 g kg⁻¹ (ano 2) e 3,48 a 10,93 g kg⁻¹ (ano 1), com vasta amplitude de valores quando comparado com outros trabalhos, os quais citam variação de 7 a 14,8 g kg⁻¹ de fitato (COELHO et al., 2002; SILVA et al., 2011).

Observou-se, ainda, que vários genótipos mantiveram-se quanto aos valores de fósforo, de forma similar nos dois cultivos e reduziram o teor de fitato do ano 1 para o ano 2 (BAFs: 3, 7, 25, 50, 55, 57, 58 e 112). Bem como, alguns genótipos (BAFs: 4, 68, 69, 75, 108 e 112) que aumentaram os teores de fósforo e também reduziram o teor de fitato. Este fato é importante pelo efeito antinutriente do fitato, é interessante identificar genótipos com baixos teores de fósforo na forma de fitato, assim os genótipos citados acima são promissores para o melhoramento da cultura, bem como para estudos em nível bioquímico visando ao entendimento da síntese de fitato nos grãos, ou ainda formas de manejo de cultivo para reduzir os teores nos grãos.

O BAF 108, no ano 2, destacou-se por apresentar altos teores de ferro, zinco, proteína total e fósforo: 124, 68, 257,03 e 5,14 g kg⁻¹, respectivamente, com baixo teor de fitato (4,62 g kg⁻¹) (Tabela 1 e 2). Isto corrobora com outros autores que encontraram alto teor de proteína associado ao alto teor de ferro (MESQUITA et al., 2007). E contraria outro trabalho que cita uma correlação positiva entre proteína e fitato (COELHO et al., 2002).

Além do BAF 108, tal relação foi observada em outros genótipos do banco (BAFs: 60 e 69) indicando o uso destes genótipos para consumo, a fim de serem incorporados nos programas de melhoramento, ou em estudos em nível bioquímico, para melhor compreensão dos mecanismos fisiológicos envolvidos no acúmulo destes nutrientes nos grãos. Como por exemplo, o gene da mio-inositol-1L-fosfato sintase (MIPS) que foi considerado um ponto de controle na síntese de fitato em estudos prévios com feijão (COELHO et al., 2002).

Ao comparar os dois anos de cultivo observou-se que os teores de magnésio (todos os genótipos),

potássio (67% dos genótipos), proteína total (50% dos genótipos) e fitato (73% dos genótipos) tiveram redução significativa no acúmulo destes nutrientes nos grãos no ano 2 de cultivo (Tabelas 1 e 2).

Estas variações podem ser explicadas pelas diferentes condições climáticas durante os períodos de florescimento e formação das vagens. No ano 2, durante o início da formação das vagens (26/12 a 01/01), observou-se alta precipitação (média 73,5 mm dia⁻¹) e temperatura próxima aos 20°C. Enquanto, para o ano 1, a fase de florescimento coincidiu com déficit hídrico e maior oscilação de temperatura (Figura 1).

As variações no teor dos nutrientes associadas às condições ambientais, durante o desenvolvimento dos grãos, já foram constatadas por outros autores. Os quais citam que as características nutricionais e tecnológicas de feijão possuem efeito tanto de genótipo quanto das condições de ambiente no desenvolvimento da planta e dos grãos, mas não detalham como os efeitos podem ser mais ou menos acentuados (LEMOS et al., 2004).

Em outros casos, sabe-se que tanto o estresse hídrico como a alta temperatura durante o período de

enchimento de grãos podem ser possíveis explicações para as variações na concentração de proteínas, tanto entre locais, como entre anos em um mesmo local (RANGEL et al., 2007).

Após ter identificada a influência do ano de cultivo diferenciada sobre o genótipo, realizou-se a análise multivariada separadamente para cada ano (1 e 2), com o objetivo de determinar a contribuição relativa dos caracteres (nutrientes) para diversidade, utilizando para isso a distância generalizada de Mahalanobis (SINGH, 1981).

A partir de uma primeira análise, selecionaram-se os cinco nutrientes que mais contribuíram (76%) no ano 1 (cálcio, fitato, fósforo, zinco e ferro) e 74% no ano 2 (cálcio, fitato, proteína solúvel, zinco e magnésio), e estes foram utilizados na análise multivariada que está demonstrada na Tabela 3. A retirada das características de menor importância relativa permitiu selecionar as características que realmente influenciam na divergência genética (ABREU et al., 2004).

Tabela 1. Teores de ferro, zinco, cálcio, magnésio e potássio em grãos de feijão no ano (1) 2005/2006 e ano (2) 2006/2007, referente a 34 genótipos de feijão.

BAF	Ferro ¹ (mg kg ⁻¹)		Zinco ¹ (mg kg ⁻¹)		Cálcio ¹ (g kg ⁻¹)		Magnésio ¹ (g kg ⁻¹)		Potássio ¹ (g kg ⁻¹)	
	Ano 1	Ano 2	Ano 1	Ano 2	Ano 1	Ano 2	Ano 1	Ano 2	Ano 1	Ano 2
3	106,0b	109,6b	46,0c	43,8c	0,53c	0,46b	2,25a	1,15a*	19,51a	13,54a*
4	124,0a	100,0b*	34,0c	40,0d	0,45d	0,31c*	2,31a	0,95a*	18,25a	12,32a*
7	120,0a	99,5b*	44,0c	45,8c	0,33e	0,28c	2,79a	1,07a*	18,48a	14,56a*
10	106,0b	107,9b	42,0c	63,9a*	0,48c	0,38c*	2,34a	0,92a*	17,06a	12,76a*
13	88,0c	82,2c	47,3c	51,9b	0,43d	0,49b	2,09b	0,94a*	20,21a	13,90a*
19	76,0d	103,5b*	40,0d	41,8d	0,55c	0,39c*	2,46a	1,13a*	18,58a	14,14a*
25	80,0c	95,7b	54,6b	52,5b	0,33e	0,54a*	2,46a	0,95a*	18,29a	11,93a*
28	88,0c	81,7c	43,3c	40,0d	0,28e	0,29c	1,95b	1,04a*	17,06a	14,43a*
33	62,0d	106,0b*	38,0d	39,9d	0,33e	0,44b*	1,79b	1,02a*	16,01a	13,52a*
36	74,0d	161,7a*	41,3c	45,9c	0,33e	0,36c	2,09b	1,21a*	17,81a	14,04a*
39	80,0c	119,5a*	34,0c	39,8d	0,28e	0,39c*	2,10b	0,91a*	18,48a	10,92a*
40	86,0c	95,8b	44,0c	45,9c	0,58b	0,38c*	1,95b	1,01a*	19,35a	13,65a*
41	88,0c	110,0b*	38,9d	42,0d	0,45d	0,45b	2,15b	0,99a*	18,06a	11,71a*
42	102,0b	104,0b	46,0c	40,0d	0,53c	0,49b	2,10b	0,96a*	19,98a	13,27a*
44	85,0c	94,0c	66,0a	40,0d*	0,63b	0,44c*	2,01b	1,05a*	17,11a	13,15a*
46	88,0c	107,8b*	44,0c	42,0d	0,33e	0,30c	1,98b	0,63a*	14,76b	11,32a*
50	78,0d	113,8b*	40,0d	43,8c	0,35e	0,34c	2,48a	1,03a*	16,14a	12,61a*
55	94,0b	100,0b	46,0c	44,0c	0,58b	0,43b*	2,54a	1,17a*	15,20b	12,54a*
56	86,0c	99,9b	40,0d	42,0d	0,61b	0,56 ^a	2,27a	1,01a*	17,68a	14,03a*
57	92,0c	84,0c	44,0c	38,0d	0,53c	0,33c*	2,18b	1,08a*	16,73a	12,67a*
58	72,0d	105,5b*	44,0c	40,0d	0,25e	0,48b*	1,88b	1,02a*	13,28b	13,38 ^a
60	82,0c	100,0b*	44,0c	48,0c	0,30e	0,30c	2,52a	1,04a*	14,79b	13,28 ^a
62	66,0d	95,8b*	38,0d	35,9d	0,65b	0,40c*	2,24a	1,06a*	14,04b	12,21 ^a
67	82,4c	77,8c	34,0c	41,9d*	0,55c	0,33c*	1,95b	1,09a*	11,54b	11,85 ^a
68	68,0d	83,5c	40,0d	40,0d	0,30e	0,30c	1,94b	0,98a*	18,38a	14,33a*
69	104,5b	104,0b	40,0d	40,0d	0,60b	0,39c*	1,80b	0,95a*	13,99b	13,41 ^a
74	88,0c	104,0b	32,0c	40,0d*	0,55c	0,38c*	2,09b	1,17a*	13,04b	11,79 ^a
75	96,0b	90,7c	40,0d	34,0d	0,43d	0,35c	1,85b	1,06a*	15,53b	13,88 ^a
108	86,0c	124,0a*	40,0d	68,0a*	0,95a	0,45b*	2,46a	1,05a*	14,25b	14,03 ^a
110	90,5c	85,4c	50,0b	43,9c*	0,41d	0,35c	1,82b	0,96a*	12,84b	12,30 ^a
111	94,0b	94,0c	52,0b	50,0b	0,38d	0,56a*	2,42a	1,31a*	13,68b	12,80 ^a
112	74,0d	88,0c	42,0c	54,0b*	0,48c	0,35c*	2,00b	1,07a*	16,63a	11,23a*
115	88,0c	132,0a*	50,0b	40,0d*	0,55c	0,35c*	1,99b	0,89a*	17,59a	12,35a*
121	96,0b	103,7b	42,0c	53,5b*	0,63b	0,40b*	1,70b	1,25a*	13,48b	13,78a
Média	87,95	101,9	42,9	44,5	0,47	0,39	2,14	1,03	16,40	12,99
CV %	5,45	4,37	3,88	3,38	6,50	3,08	5,20	2,00	5,50	2,50

¹Médias seguidas pela mesma letra (n = 3), em cada coluna, pertencem a um mesmo grupo, de acordo com o teste de Scott-Knott, em nível de 5% de probabilidade. *Diferença significativa entre os anos de cultivo para cada BAF, pelo método de Student, em nível de 5% de probabilidade.

Tabela 2. Teores de fósforo, fitato, proteína solúvel e proteína total (g kg^{-1}) em grãos de feijão no ano (1) 2005/2006 e ano (2) 2006/2007, referente a 34 genótipos.

BAF	Fósforo ¹ (g kg^{-1})		Fitato ¹ (g kg^{-1})		Proteína Solúvel ¹ (g kg^{-1})		Proteína Total ¹ (g kg^{-1})	
	Ano 1	Ano 2	Ano 1	Ano 2	Ano 1	Ano 2	Ano 1	Ano 2
3	5,18a	4,96a	7,96c	5,85c*	89,48c	102,10a*	289,84a	278,91a
4	4,88b	5,51a*	7,50c	4,36d*	98,39b	84,06b*	295,31a	232,42b*
7	5,64a	5,77a	9,46b	3,41e*	88,48c	86,83b	295,31a	254,30a*
10	4,68b	4,83b	6,88d	6,58b	74,82d	92,74a*	267,97a	223,13b*
13	5,29a	4,53b*	8,23c	4,40d*	91,86c	83,91b	306,25a	248,83a*
19	5,60a	5,28a	7,42c	5,33c*	98,64b	90,99 a	278,91a	224,22b*
25	5,27a	5,38a	7,70c	5,30c*	98,02b	94,08 a	278,91a	270,70 a
28	4,95b	5,17a	7,25c	5,58c*	90,89c	98,99 a	235,16b	226,95b
33	3,48d	4,50b*	5,70c	5,84c	102,37b	87,92b*	262,50b	218,75b*
36	5,07b	5,65a*	8,95b	7,03b*	86,36c	81,82c	289,84a	246,09a*
39	4,23c	5,53a*	5,62c	5,03d	99,46b	94,65 a	257,03b	243,79a
40	4,78b	4,04b*	8,09c	5,42c*	86,01c	70,37c*	267,97a	246,09a
41	5,44a	4,36b*	9,75b	4,50d*	104,31b	88,00b*	289,84a	248,83a*
42	5,22a	5,49a	7,63c	8,01a	83,85d	93,39a*	267,97a	235,16b
44	3,95c	4,71b*	6,21d	6,65b	89,84c	76,34c*	262,50b	265,23a
46	5,21a	4,22b*	7,55c	4,33d*	98,50b	91,60 a	218,75c	245,78a
50	4,65b	5,13a	8,03c	5,43c*	90,95c	77,04c*	246,09b	231,65b
55	4,86b	5,16a	9,42b	4,59d*	81,54d	74,44c	251,56b	234,56b
56	5,73a	4,53b*	9,24b	5,45c*	79,39d	86,98b	262,50b	202,34b*
57	3,95c	4,34b	4,79f	3,00e*	83,28d	81,23c	202,34c	199,61b
58	4,35c	4,78b	10,93a	5,11d*	88,93c	77,71c*	273,44a	267,97a
60	5,27a	4,47b*	5,81c	4,35d*	94,04b	74,74c*	322,66a	218,75b*
62	4,18c	4,39b	6,83d	6,36c	86,80c	81,50c	284,38a	232,42b*
67	2,84c	4,37b*	5,26c	6,21c	78,13d	70,58c	270,76a	224,22b*
68	4,16c	5,39a*	8,47c	5,53c*	80,37d	85,59b	251,56b	237,89b
69	4,41c	4,85b	4,06g	3,52e	94,38b	74,10c*	267,97a	235,16b
74	4,91b	5,44a	6,30d	3,84d*	87,73c	81,58c	295,31a	213,28b*
75	4,72b	5,18a	10,56a	7,83a*	85,77c	91,24 a	273,44a	251,56a
108	4,57c	5,14a*	6,54d	4,62d*	85,96c	75,74c*	245,50b	257,03a
110	5,27a	4,31b*	3,48g	6,15c*	129,28a	73,77c*	278,91a	259,87a
111	5,48a	4,81b*	5,61c	3,93d*	98,49b	72,89c*	311,72a	226,95b*
112	4,17c	4,41b	7,80c	2,38e*	91,83c	74,30c*	278,91a	218,75b*
115	5,31a	4,46b*	7,55c	7,55a	96,12b	71,32c*	295,31a	226,95b*
121	5,87a	4,68b*	7,58c	5,55c*	85,25c	77,42c	289,84a	262,50a
Média	4,81	4,88	7,36	5,27	91,16	82,94	272,54	238,55
CV%	3,54	2,63	5,12	3,34	3,47	2,04	4,34	2,42

¹Médias seguidas pela mesma letra ($n = 3$), em cada coluna, pertencem a um mesmo grupo, de acordo com o teste de Scott-Knott, em nível de 5% de probabilidade. *Diferença significativa entre os anos de cultivo para cada BAF, pelo método de Student, em nível de 5% de probabilidade.

Com base nesta análise multivariada, observou-se no ano 1 maior contribuição relativa do teor de cálcio (29,79%), enquanto no ano 2 o teor de fitato foi o caráter que apresentou maior contribuição relativa para a divergência genética (39,29%) (Tabela 3). Tais percentuais obtidos nas contribuições de cada ano demonstraram que cada nutriente contribuiu de forma específica na separação dos genótipos. Esta diferente contribuição de cada nutriente pode ter ocorrido por fatores associados à composição química das sementes, como genótipo e condições climáticas e o próprio local de cultivo causando acúmulo diferenciado na composição centesimal do feijão.

Tabela 3. Contribuição relativa dos caracteres com base na divergência genética (D^2) para 34 genótipos de feijão, nos dois anos de cultivo, do BAF, UDESC, Lages.

Variável	Ano 1		Ano 2	
	Valor em %		Variável	Valor em %
Cálcio	29,79		Fitato	39,29
Fitato	25,54		Magnésio	21,57
Fósforo Total	16,99		Proteína Solúvel	15,51
Zinco	16,77		Zinco	13,04
Ferro	10,91		Cálcio	10,59

A partir da distância generalizada de Mahalanobis (D^2), obteve-se o agrupamento dos genótipos considerando os cinco caracteres de maior contribuição para cada ano (Tabela 3). O agrupamento pelo método de Tocher permitiu a separação dos 34 genótipos em cinco grupos distintos no ano 1, e sete grupos no ano 2 (Tabelas 4 e 5). Apesar do grande número de grupos formados (Tabela 4 e 5), observou-se grande número de genótipos, tanto para o ano 1 (82%), como o ano 2 (65%) agrupados apenas no grupo 1.

Diante da distribuição concentrada de genótipos no grupo 1, constatou-se que apesar da técnica de agrupamento de Tocher minimizar a variabilidade dentro dos grupos, observaram-se distâncias elevadas (D^2) entre genótipos contidos no grupo 1, como, por exemplo, os BAF 3 e BAF 39 ($D^2 = 86,33$) para o ano 1, e os genótipos BAF 7 e BAF 110 ($D^2 = 86,04$) para o ano 2, o que reforçou a variabilidade dentro do grupo. Assim, realizou-se um subagrupamento dos genótipos pertencentes ao grupo 1 de cada ano, para explorar melhor a diversidade encontrada no grupo 1. A necessidade de

subagrupamento também foi observada por outros autores (ABREU et al., 2004), em pesquisa utilizando 25 genótipos de feijão-de-vagem, e 92% destes permaneceram no grupo 1 e apresentaram distâncias elevadas entre pares de genótipos ($D^2 = 80,38$). Os agrupamentos e subagrupamentos possibilitam a escolha de genitores de acordo com a distância genética, a realização de cruzamentos a partir de germoplasmas dissimilares possibilita a obtenção de populações segregantes com ganho genético superior para as características a serem selecionadas.

Tabela 4. Agrupamento e subagrupamento pelo método de Tocher, com base em cinco características de maior contribuição para a diversidade, avaliadas em 34 genótipos de feijão, referente ano 1 (2005/2006), utilizando-se a distância generalizada de Mahalanobis (D^2), do BAF, UDESC, Lages.

Grupos	Subgrupos	Genótipos
1	1.1	3, 42, 10, 40, 115, 13, 55, 121
	1.2	28, 46, 50, 36, 68, 112
	1.3	41, 56, 19
	1.4	25, 111, 60
	1.5	62, 74
	1.6	7, 75
	1.7	4
	1.8	58
	1.9	39
	1.10	57
2		33, 67, 69
3		110
4		108
5		44

Tabela 5. Agrupamento e subagrupamento pelo método de Tocher, com base em cinco características de maior contribuição para a diversidade, avaliadas em 34 genótipos de feijão referente ano 2 (2006/2007), utilizando-se a distância generalizada de Mahalanobis (D^2), do BAF, UDESC, Lages.

Grupos	Subgrupos	Genótipos
1	1.1	40, 50, 110, 67
	1.2	44, 62, 33
	1.3	39, 41
	1.4	55, 74
	1.5	4, 68
	1.6	57, 69
	1.7	19, 28
	1.8	58
	1.9	56
	1.10	13
	1.11	7
	1.12	60
2		42, 75, 115, 36
3		3, 25, 10
4		111, 121
5		108
6		112
7		46

Como demonstram as Tabelas 4 e 5 formaram-se dez subgrupos no ano 1 e 12 subgrupos no ano 2 (Tabelas 3 e 4). Tanto os genótipos crioulos como os comerciais apresentaram variação na composição química da semente nas duas safras, e o efeito ambiental de um ano para outro também

influenciou o agrupamento dos genótipos comerciais recomendados para o Estado de Santa Catarina.

Os genótipos apresentaram respostas diferentes tanto dentro do ano de cultivo como nos 2 anos de cultivos diferentes. Isto indica relação estreita entre genótipos e as condições climáticas de cultivo. Tais resultados apontam perspectivas de trabalhos futuros para explorar tanto a diversidade encontrada entre os genótipos como a resposta diferencial em diferentes anos de cultivo.

Conclusão

A variabilidade fenotípica foi observada entre os genótipos crioulos e comerciais para todos os nutrientes analisados nos dois anos de cultivo.

Os genótipos crioulos BAF 60, 69 e 108 destacaram-se com níveis elevados de nutrientes (ferro, fósforo e proteína total) nos grãos, e são indicados para a melhoria na qualidade de dietas, uso em programas de melhoramento e pelo próprio agricultor para consumo, produção e comercialização.

Pela interação entre genótipo e ano, indica-se que os teores de nutrientes nos grãos sejam analisados nos ensaios de valor de cultivo e uso ao indicar uma nova cultivar.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pelo apoio financeiro via Prodoc (Programa de Apoio a Projetos Institucionais), concedido ao segundo autor (C. M. M. Coelho).

Referências

- ABREU, F. B.; LEAL, N. R.; RODRIGUES, R.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; SILVA, D. J. H. Divergência genética entre acessos de feijão-de-vagem de hábito de crescimento indeterminado. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 3, p. 547-552, 2004.
- AOAC-Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis**. Washington, D.C.: Association of Official Analytical Chemists, 1995.
- BARRUETO-GONZALEZ, N. B. Biodisponibilidade de minerais das fontes leguminosas. **Revista Simbio-Logias**, v. 1, n. 1, p. 174-183, 2008.
- BEEBE, S.; GONZALEZ, A. V.; RENGIFO, J. Research on trace minerals the common bean. **Food and Nutrition Bulletin**, v. 21, n. 1, p. 387-391, 2000.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye banding.

- Analytical Biochemistry**, v. 72, n. 3, p. 248-259, 1976.
- BROUGHTON, W. G.; HERNÁNDEZ, G.; BLAIR, M.; BEEBE, S.; GEPTS, P.; VANDERLEYDEN, J. Beans (*Phaseolus* spp.): model food legumes. **Plant and Soil**, v. 252, n. 1, p. 55-128, 2003.
- BROWN, J. W. S.; MA, Y.; BLISS, F. A.; HALL, T. C. Genetic variation in the subunits of globulin-1 storage protein of french bean. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 59, n. 2, p. 83-88, 1981.
- CARNEIRO, J. C. S.; MINIM, V. P. R.; SOUZA JUNIOR, M. M.; CARNEIRO, J. E. S.; ARAÚJO, G. A. A. Perfil sensorial e aceitabilidade de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 1, p. 18-24, 2005.
- COELHO, C. M. M.; SANTOS, J. C. P.; TSAI, S. M.; VITORELLO, V. A. Seed phytate content and phosphorus uptake and distribution in dry bean genotypes. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 14, n. 1, p. 51-58, 2002.
- COELHO, C. M. M.; COIMBRA, J. L. M.; SOUZA, C. A.; BOGO, A.; GUIDOLIN, A. F. Diversidade Genética em acessos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência Rural**, v. 37, n. 5, p. 1241-1247, 2007a.
- COELHO, C. M. M.; VARGAS, V. P.; SOUZA, C. A.; PEREIRA, T.; SANTOS, J. C. P. Cooking quality of common beans as influenced by different nitrogen levels and time of application. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 11, n. 3, p. 261-265, 2009.
- COELHO, C. M. M.; ZÍLIO, M.; PIAZZOLI, D.; FARIAS, F. L.; SOUZA, C. A.; BORTOLUZZI, R. L. C. Influência das características morfológicas e físicas dos grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) na sua capacidade de hidratação e cocção. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. 2, p. 105-107, 2007b.
- CQFS-RS/SC. Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: SBCS - Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2004.
- CRUZ, C. D. **Programa Genes**: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, 2001.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2004.
- ELIAS, H. T.; VIDIGAL, M. C. G.; GONELA, A.; VOGT, G. A. Variabilidade genética em germoplasma tradicional de feijão-preto em Santa Catarina. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 10, p. 1443-1449, 2007.
- EPAGRI. **Atlas climatológico do estado de Santa Catarina**. Disponível em: <<http://www.ciram.epagri.rct-sc.br>>. Acesso em: 28 mar. 2011.
- FANTINI, A. P.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G.; SOUZA, M. C.; MANSI, D. N. C. Disponibilidade de ferro em misturas de alimentos com adição de alimentos com alto teor de vitamina C e de cisteína. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 2, p. 435-439, 2008.
- FRANCO, E.; ANDRADE, C. A. B.; SCAPIM, C. A.; FREITAS, P. S. L. Resposta do feijoeiro à aplicação de nitrogênio na semeadura e cobertura no sistema plantio direto. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n. 3, p. 427-434, 2008.
- FUKUJI, T. S.; FERREIRA, D. L.; SOARES, A. L.; PRETE, C. E. C.; IDA, E. I. Ácido fítico de híbridos de milho e alguns produtos industrializados. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n. 1, p. 31-35, 2008.
- GUZMÁN-MALDONADO, S. H.; GALLEGOS-ACOSTA, J.; LÓPEZ-PAREDES, O. Protein and mineral content of a novel collection of wild and weedy common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 80, n. 1, p. 1874-1881, 2000.
- HOUSE, W. A.; WELCH, R. M.; BEEBE, S.; CHENG, Z. Potential for increasing the amounts of bioavailable zinc in dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) through plant breeding. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 82, n. 1, p. 1452-1457, 2002.
- JOST, E.; RIBEIRO, N. D.; MAZIERO, S. M.; ROSA, T. C. D. P. Efeitos gênicos do teor de cálcio em grãos de feijão. **Ciência Rural**, v. 39, n. 1, p. 31-37, 2009.
- LATTA, M.; ESKIN, M. A simple method for phytate determination. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 28, n. 6, p. 1313-1315, 1980.
- LEMONS, L. B.; OLIVEIRA, R. S.; PALOMINO, E. C.; SILVA, T. R. B. Características agrônômicas e tecnológicas de genótipos de feijão do grupo comercial Carioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 4, p. 319-326, 2004.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, A. S. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafós, 1989.
- MESQUITA, F. R.; CORRÊA, A. D.; ABREU, C. M. P.; LIMA, R. A. Z.; ABREU, A. F. B. Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): composição química e digestibilidade proteica. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 1, p. 1114-1121, 2007.
- PEREIRA, T.; COELHO, C. M. M.; BOGO, A.; GUIDOLIN, A. F.; MIQUELLUTI, D. J. Diversity in common bean landraces from South-Brazil. **Acta Botanica Croatica**, v. 68, n. 1, p. 79-92, 2009.
- RANGEL, M. A. S.; MINUZZI, A.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; CARDOSO, P. C. Efeitos da interação genótipos x ambientes no rendimento de grãos e nos teores de proteína de cultivares de soja. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 29, n. 3, p. 351-354, 2007.
- RIBEIRO, N. D.; ANTUNES, I. F.; POERSCH, N. L.; ROSA, S. S.; TEIXEIRA, M. G.; GOMES, A. L. Potencial de uso agrícola e nutricional de cultivares crioulas de feijão. **Ciência Rural**, v. 38, n. 3, p. 628-634, 2008a.
- RIBEIRO, N. D.; JOST, E.; CERUTTI, T.; MAZIERO, S. M.; POERSCH, N. L. Composição de microminerais em cultivares de feijão e aplicações para

o melhoramento genético. **Bragantia**, v. 67, n. 2, p. 267-273, 2008b.

SANTALLA, M.; SEVILLANO, M. C. M.; MONTEAGUDO, A. B.; RON, A. M. Genetic diversity of Argentinean common bean and its evolution during domestication. **Euphytica**, v. 135, n. 1, p. 75-87, 2004.

SATHE, S. K. Dry bean protein functionality (Review). **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 22, n. 2, p. 175-223, 2002.

SILVA, A.; PEREIRA, T.; COELHO, C. M. M.; ALMEIDA, J. A.; SCHMITT, C. Teor de fitato e proteína em grãos de feijão em função da aplicação de pó de basalto **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 1, p. 147-152, 2011.

SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **The Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, v. 41, n. 2, p. 237-245, 1981.

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 1. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995.

Received on February 11, 2009.

Accepted on July 15, 2009.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.