

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**GENÉTICA DOS TEORES DE CÁLCIO E DE FERRO
EM GRÃOS DE FEIJÃO COMUM**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Evandro Jost

Santa Maria, RS, Brasil

2008

GENÉTICA DOS TEORES DE CÁLCIO E DE FERRO EM GRÃOS DE FEIJÃO COMUM

por

Evandro Jost

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Agronomia.**

Orientador: Prof^ª. Nerinéia Dalfollo Ribeiro

Santa Maria, RS, Brasil

2008

J84g Jost, Evandro, 1981-
Genética dos teores de cálcio e de ferro em grãos de feijão comum / por Evandro Jost ; orientador Nerinéia Dalfollo Ribeiro. – Santa Maria, 2008
42 f. ; il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, RS, 2008.

1. Agronomia 2. *Phaseolus vulgaris* L. 3. Efeito materno
4. Herdabilidade 5. Ganho por seleção 6. Germoplasma nutracêutico I. Ribeiro, Nerinéia Dalfollo, orient. II. Título

CDU: 635.652

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB 10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

© 2008

Todos os direitos autorais reservados a Evandro Jost. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.

Endereço: Quadra 58, Casa 12, Bairro Cohab Tancredo Neves, Santa Maria, RS, 97032-410
Fone (0xx)55 91057656; End. Eletr: evandrojost@yahoo.com.br

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Agronomia**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**GENÉTICA DOS TEORES DE CÁLCIO E DE FERRO EM GRÃOS DE
FEIJÃO COMUM**

elaborada por
Evandro Jost

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agronomia

COMISSÃO EXAMINADORA:


Nerinéia Dalfollo Ribeiro, Dr^a.
(Presidente/Orientadora)


Fernando Irajá Félix de Carvalho, Dr.
(UFPel)


Solange Bosio Tedesco, Dr^a.
(UFSM)

Santa Maria, 15 de fevereiro de 2008.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais: Oscar Jost e

Marlene M. Wendler Jost

À minha irmã: Claudia Jost

À minha esposa: Itagiane Folmer

A essas pessoas queridas, sempre presentes nessa etapa de minha vida, compreendendo, apoiando e, principalmente me proporcionando às condições necessárias para que este sonho se realizasse. Em especial aos meus pais, a quem devo a vida e minha formação moral.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha existência e por iluminar e abençoar o meu caminho.

À Universidade Federal de Santa Maria, ao Centro de Ciências Rurais e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de realização do Mestrado.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

À minha orientadora, Profa. Dra. Nerinéia Dalfollo Ribeiro, pelos ensinamentos, estímulo, amizade e sugestões dadas a este trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Fitotecnia, pela ajuda e amizade, em especial, ao João Colpo.

Aos amigos e colegas, Ana, Daniele, Nerison, Patrícia, Sandra, Simone, Taiguer e Viviani, pela amizade, parceria, tempo e esforços destinados à conclusão dos inúmeros desafios para a realização deste trabalho.

A todas aquelas pessoas que colaboraram de formas distintas para o meu desenvolvimento pessoal e profissional, **MUITO OBRIGADO.**

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria

GENÉTICA DOS TEORES DE CÁLCIO E DE FERRO EM GRÃOS DE FEIJÃO COMUM

Autor: Evandro Jost

Orientadora: Nerinéia Dalfollo Ribeiro

Local e data da defesa: Santa Maria, 15 de fevereiro de 2008.

O feijão possui teores significativos de cálcio e de ferro nos grãos, proporcionando que essa leguminosa seja utilizada na alimentação humana para o controle da deficiência de minerais. Além disso, variabilidade genética para estes minerais foi observada, o que possibilita o desenvolvimento de germoplasma nutracêutico. Como o conhecimento sobre a genética dos teores de cálcio e de ferro são fundamentais para aumentar sua concentração nos grãos, e estas informações não foram encontradas na literatura, foram objetivos desse trabalho: (1) investigar a ocorrência de efeito materno para os teores de cálcio e de ferro em grãos de feijão; (2) obter estimativas de herdabilidade e de ganho por seleção em gerações precoces para os teores de cálcio e de ferro em grãos de feijão. Por isso, cruzamentos controlados foram realizados entre as cultivares Pérola x TPS Bonito e TPS Bonito x BRS Expedito, para o estudo da genética do cálcio, e entre as cultivares Minuano x Diamante Negro e Diamante Negro x Iapar 44, para o estudo da genética do ferro. Efeito materno foi observado na expressão dos teores de cálcio e de ferro em grãos de feijão. Para o cálcio, estimativas de herdabilidade, em sentido amplo, de 66,75% e de 74,65% e, em sentido restrito, de 47,00% e 63,61% foram obtidas para os cruzamentos entre Pérola x TPS Bonito e TPS Bonito x BRS Expedito, respectivamente. Uma planta F₂ com 33,64% a mais de cálcio (1,47 g kg⁻¹ de MS) do que o genitor com maior valor desse mineral, foi obtida. Para o teor de ferro, estimativas de herdabilidade, em sentido amplo, de 76,36% e, em sentido restrito de 50,60% foram observadas, a partir do cruzamento entre Minuano x Diamante Negro. Foi possível aumentar em 94% o teor de ferro em grãos de feijão, em relação ao genitor de maior teor desse mineral, pois uma planta F₂ com 161,20 mg kg⁻¹ de MS foi obtida. A seleção de plantas F₂ nas gerações segregantes obtidas a partir destes cruzamentos realizados poderá ser efetiva no desenvolvimento de germoplasma de feijão com maiores teores de cálcio e de ferro nos grãos devido às estimativas de herdabilidade e de ganho por seleção moderadas a altas constatadas.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., efeito materno, herdabilidade, ganho por seleção, germoplasma nutracêutico.

ABSTRACT

**Master's Dissertation
Agronomy Post-Graduation Program
Federal University of Santa Maria**

GENETIC OF THE CALCIUM AND IRON CONTENTS IN COMMON BEAN GRAINS

Author: Evandro Jost

Adviser: Nerinéia Dalfollo Ribeiro

Place and date of the defense: Santa Maria, February 15th, 2008.

The common bean has significant levels of calcium and iron in grains, providing that this legume is used in human food controlling minerals deficiency. Furthermore, genetic variability for these minerals were observed, allowing the development of nutraceuticals germplasm. As knowledge about the genetics of calcium levels and iron content are essential for increasing their concentration in grain, and this information is not available in the literature, were objectives of this work: (1) to investigate the occurrence of maternal effect to the levels of calcium and iron in common bean grains (2) to estimate heritability and gain from selection in early generations to the levels of calcium and iron in common bean grains. Therefore, controlled crossings were made between cultivars Pérola x TPS Bonito and TPS Bonito x BRS Expedito, for the study of genetics of calcium, and between cultivars Minuano x Diamante Negro and Diamante Negro x Iapar 44 for the study of genetics of iron. Maternal effect was observed in the expression levels of calcium and iron content common bean grains. For calcium, estimates of heritability, in the broad sense, of 66.75% and 74.65%, and in the narrow sense of 47.00% and 63.61% were obtained for the crossings between Pérola x TPS Bonito and TPS Bonito x BRS Expedito respectively. F₂ plant with 33.64% more calcium (1.47 g kg⁻¹ DM) than the genitor with greater value of this mineral, was obtained. For the content of iron, the estimative of heritability, in the broad sense in 76.36% and, in the narrow sense in 50.60% it was observed, from crossing between Minuano x Diamante Negro. It was possible to increase by 94% the iron content, for the genitor of higher mineral content of this because a plant F₂ with 161.20 mg kg⁻¹ DM was obtained. The selection of plants in the F₂ generation obtained from these crossings can be made effective in the development of common bean germplasm with higher levels of calcium and iron content in grains because of the moderate to high estimates of heritability and gain from selection.

Key-words: *Phaseolus vulgaris* L., maternal effect, heritability, selection gain, nutraceuticals germplasm

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise da variância do teor de cálcio em grãos de feijão, considerando os genitores (P_1 e P_2) e as gerações F_1 , F_1 recíproco, F_2 e F_2 recíproco obtidas nos cruzamentos entre Pérola x TPS Bonito e TPS Bonito x BRS Expedito. Santa Maria – RS, UFSM, 2007.....	22
Tabela 2 - Médias dos genitores (P_1 e P_2) e das gerações F_1 , F_2 , retrocruzamento 1 (RCP_1) e retrocruzamento 2 (RCP_2), com base na geração dos cotilédones, e seus respectivos desvios-padrão, parâmetros genéticos e predição de ganho por seleção para o teor de cálcio nos grãos de feijão para os cruzamentos entre Pérola x TPS Bonito e TPS Bonito x BRS Expedito. Santa Maria – RS, UFSM, 2007.....	24
Tabela 3 - Análise da variância do teor de ferro em grãos de feijão, considerando os genitores (P_1 e P_2) e as gerações F_1 , F_1 recíproco, F_2 e F_2 recíproco obtidas nos cruzamentos entre Minuano x Diamante Negro e Diamante Negro x Iapar 44. Santa Maria – RS, UFSM, 2007.....	34
Tabela 4 - Médias dos genitores (P_1 e P_2) e das gerações F_1 , F_2 , retrocruzamento 1 (RCP_1) e retrocruzamento 2 (RCP_2), com base na geração dos cotilédones, parâmetros genéticos e predição de ganho por seleção para o teor de ferro nos grãos de feijão para os cruzamentos entre Minuano x Diamante Negro e Diamante Negro x Iapar 44. Santa Maria – RS, UFSM, 2007.....	36

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Genitores (P_1 e P_2) e gerações F_1 , F_1 recíproco, F_2 , F_2 recíproco com seus respectivos teores médios de cálcio nos grãos e teste de significância dos contrastes entre P_1 vs P_2 , P_1 vs F_1 , P_2 vs F_{1r} , F_1 vs F_{1r} e F_2 vs F_{2r} obtidos no cruzamento A (Pérola x TPS Bonito) e cruzamento B (TPS Bonito x BRS Exedito). Santa Maria – RS, UFSM, 2007..... 23
- Figura 2** – Genitores (P_1 e P_2) e gerações F_1 , F_1 recíproco, F_2 , F_2 recíproco com seus respectivos teores médios de ferro nos grãos e teste de significância dos contrastes entre P_1 vs P_2 , P_1 vs F_1 , P_2 vs F_{1r} , F_1 vs F_{1r} e F_2 vs F_{2r} obtidos no cruzamento A (Minuano x Diamante Negro) e no cruzamento B (Diamante Negro x Iapar 44). Santa Maria – RS, UFSM, 2007..... 35

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 – Tipo de grão, Programa de melhoramento obtentor/mantenedor da cultivar (Origem), genealogia e hábito de crescimento (HC) das cultivares de feijão utilizadas como genitores para os estudos da genética do teor de cálcio e de ferro em grãos de feijão. Santa Maria – RS, UFSM, 2007.....	42
---	----

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
CAPÍTULO 1 - Controle genético do teor de cálcio em grãos de feijão	
Resumo	13
Abstract.....	14
Introdução.....	15
Material e Métodos.....	16
Resultados e discussão.....	18
Conclusões.....	21
CAPÍTULO 2 - Potencial de aumento do teor de ferro em grãos de feijão por melhoramento genético	
Resumo	25
Abstract.....	26
Introdução.....	27
Material e Métodos.....	28
Resultados e discussão.....	30
Conclusões.....	33
CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
ANEXOS	42

INTRODUÇÃO

As deficiências de alguns minerais, como o cálcio e o ferro, são comuns em humanos. Isso porque esses minerais apresentam biodisponibilidade baixa, dependem da composição química dos alimentos e, na maioria dos casos, a deficiência é o resultado da baixa biodisponibilidade e da ingestão insuficiente (MILLER, 2000).

O cálcio é o mineral mais abundante no organismo, constituindo cerca de 1,5 a 2,0% do peso corpóreo e 39% dos minerais do corpo humano (ANDERSON, 2002). As funções do cálcio estão diretamente relacionadas à formação dos ossos e dos dentes, além de participar no crescimento e ser um co-fator/regulador em várias reações bioquímicas (FRANCO, 1999). A osteoporose é a doença mais comum relacionada à deficiência desse mineral na alimentação (MIGLIORANZA et al., 2003). Estima-se que, aproximadamente, 200 milhões de pessoas no mundo apresentem osteoporose (RUSSO, 2001).

A carência de ferro provoca anemia ferropriva, prejudicando o crescimento, facilitando a instalação de processos infecciosos, diminuindo o rendimento do aprendizado ou reduzindo a produtividade no trabalho (FRANCO, 1999). A deficiência desse mineral no organismo humano é um problema grave de saúde pública a nível mundial, que afeta, aproximadamente, 2 bilhões de pessoas (DELLA PENNA, 1999).

Dentre as mais variadas fontes de alimentos disponíveis para o consumo, as leguminosas possuem importância significativa na alimentação humana, constituindo um dos principais suprimentos protéicos em áreas em que as fontes de proteína animal são escassas ou caras. Nesse sentido, o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) apresenta-se como uma excelente alternativa para a composição alimentar. Isso porque apresenta conteúdo protéico relativamente alto, elevado teor de lisina - que exerce efeito complementar as proteínas dos cereais, alta fibra alimentar, alto conteúdo de carboidratos complexos, possui vitaminas do complexo B e os minerais, como cálcio, magnésio, ferro e zinco (LAJOLO et al., 1996; ESTEVES, 2000; MESQUITA et al., 2007). Essa composição química torna o consumo de feijão vantajoso do ponto de vista nutricional.

Além do que, o Brasil destaca-se como o maior produtor e consumidor mundial de feijão (SILVA et al., 2006). Dados preliminares referentes a safra agrícola 2006/2007 estimam uma área total semeada com feijão, no Brasil, em torno de 4,08 milhões de hectares,

com uma produção total de 3,34 milhões de toneladas e produtividade média de 817 kg ha⁻¹, com um consumo estimado de 3,30 milhões de toneladas (CONAB, 2007).

Como faz parte da alimentação diária de parcela significativa da população brasileira, o feijão contribui, de forma significativa, no suprimento das necessidades de ingestão diária de cálcio e de ferro. Assim, uma porção cozida de 170 g - 65% de umidade, equivale a, aproximadamente 10% das necessidades diárias de cálcio e 29 a 55% das necessidades de ferro para mulheres e homens adultos, respectivamente (SATHE, 1984).

As deficiências de cálcio e de ferro na alimentação são freqüentes e é preciso encontrar soluções para amenizar esse problema. Como há variabilidade genética para o teor de cálcio e de ferro nos grãos de feijão (BARAMPAMA & SIMARD, 1993; BEEBE et al., 2000; ESTEVES, 2000; GUZMÁN-MALDONADO et al., 2000; MESQUITA et al., 2007), é possível a seleção e o melhoramento genético destes caracteres. Dessa maneira, o desenvolvimento de cultivares nutracêuticas de feijão, por meio de melhoramento clássico é uma alternativa viável para atenuar os efeitos de deficiência destes minerais. Entretanto, isso somente será possível com o conhecimento da herança do teor de cálcio e de ferro em feijão. Como nenhuma informação foi encontrada na literatura sobre o controle genético do teor desses minerais em grãos de feijão, foram objetivos desse trabalho: (1) investigar a ocorrência de efeito materno para os teores cálcio e de ferro em grãos de feijão; (2) estudar a herança dos teores de cálcio e de ferro em grãos de feijão.

CAPÍTULO 1

CONTROLE GENÉTICO DO TEOR DE CÁLCIO EM GRÃOS DE FEIJÃO

GENETIC CONTROL OF THE CALCIUM CONTENT IN COMMON BEAN GRAINS

RESUMO

Os objetivos desse trabalho foram investigar a existência de efeito materno para o teor de cálcio em grãos de feijão e obter estimativas de herdabilidade e de ganho por seleção para esse mineral. Os cruzamentos controlados foram realizados entre as cultivares Pérola x TPS Bonito e TPS Bonito x BRS Expedito. As gerações F_1 , F_1 recíproco, F_2 , F_2 recíproco, F_3 , F_3 recíproco, RCP_1 e RCP_2 foram obtidas para cada combinação híbrida. O teor de cálcio foi determinado por meio de digestão nítrica-perclórica e leitura em espectrofotômetro de absorção atômica. Variabilidade genética para o teor de cálcio nos grãos foi obtida nos diferentes cruzamentos e foi observado efeito materno na expressão do teor de cálcio em feijão. Estimativas de herdabilidade, em sentido amplo, de 66,75% e de 74,65% e, em sentido restrito, de 47,00% e 63,61% foram obtidas para os cruzamentos Pérola x TPS Bonito e TPS Bonito x BRS Expedito, respectivamente. Planta F_2 com teor de cálcio de 1,47 g kg⁻¹ de MS - 33,64% superior ao genitor de alto teor de cálcio - foi obtida no cruzamento entre TPS Bonito x BRS Expedito. A seleção de plantas F_2 nas gerações segregantes obtidas a partir dos cruzamentos entre Pérola x TPS Bonito e TPS Bonito x BRS Expedito poderá ser efetiva no desenvolvimento de germoplasma de feijão com maior teor de cálcio nos grãos.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., qualidade nutricional, variabilidade genética, efeito materno, herdabilidade, ganho por seleção.

ABSTRACT

The objectives of this work were to investigate the existence of maternal effect of calcium content in common bean grains and to obtain heritability and gain from selection estimative for this mineral. The controlled crossings were performed among the cultivars Pérola x TPS Bonito and TPS Bonito x BRS Expedito. The F₁, F₁ reciprocal, F₂, F₂ reciprocal, F₃, F₃ reciprocal, backcross 1 and backcross 2 generations were obtained to each hybrid combination. The calcium content was determined by nitric-perchloric digestion and the determination on the atomic absorption spectrophotometer. Genetic variability to calcium content in the grains was obtained in two crosses and maternal effect was observed in the expression of the calcium content in common beans. Estimates of heritability in the broad sense of 66.75% and 74.65% and the narrow sense heritability of 47.00% and 63.61% were obtained for crosses Pérola x TPS Bonito and TPS Bonito x BRS Expedito, respectively. F₂ plant with calcium content of 1.47 g kg⁻¹ of MS - 33.64% higher than genitor with high calcium content - was obtained for the cross TPS Bonito x BRS Expedito. The selection of plants in the F₂ generation segregating obtained from crosses between Pérola x TPS Bonito and TPS Bonito x BRS Expedito may be effective for development of common bean germplasm with higher calcium content in grains.

Key Words: *Phaseolus vulgaris* L., nutritional quality, genetic variability, maternal effect, heritability, selection gain.

INTRODUÇÃO

O cálcio é o mineral encontrado em maior quantidade no organismo humano e a necessidade de ingestão para suprir as necessidades nutricionais diárias é de 1,2 g dia⁻¹ (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1989). O cálcio é essencial em vários processos bioquímicos como a coagulação sanguínea, contração muscular, divisão celular, transmissão de impulsos nervosos, na atividade enzimática, na membrana celular e na secreção celular (MILLER, 2000).

A falta de cálcio na alimentação aumenta a probabilidade de ocorrência de doenças relacionadas aos ossos, como a osteoporose (MIGLIORANZA et al., 2003). Entretanto, se quantidades adequadas de cálcio forem ingeridas diariamente, o risco de desenvolvimento de doenças crônicas pode ser reduzido (BRYANT et al., 1999).

O leite e seus derivados são fontes biodisponíveis de cálcio, entretanto, devido ao alto custo, são inacessíveis às pessoas de menor poder aquisitivo. Além disso, algumas pessoas apresentam intolerância a lactose (MIGLIORANZA, et al., 2003). Por isso, alimentos de origem vegetal têm sido pesquisados como fonte alternativa de cálcio para a alimentação (GRUSAK et al., 1996). Nesse sentido, o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) foi a terceira melhor opção como fonte de cálcio, em um estudo realizado com 39 espécies de origem vegetal (STEVENS, 1974). Quando comparado a outras leguminosas, o feijão tem 50% a mais de cálcio que o grão-de-bico e 100% a mais, que a lentilha (SEBASTIÁ et al., 2001). Além disso, deve se levar em consideração que o cálcio, presente nas vagens e nos grãos imaturos do feijão vagem, é prontamente absorvido pelo ser humano (GRUSAK et al., 1996).

O teor de cálcio nos grãos de feijão pode variar com a cultivar. No Brasil, valores entre 2,20 g a 2,80 g Ca kg⁻¹ de matéria seca (MS) foram constatados em seis linhagens de feijão (ESTEVES, 2000) e entre 0,30 g a 2,80 g Ca kg⁻¹ de MS foram observados em 21 linhagens (MESQUITA et al., 2007). Na Colômbia, por sua vez, BEEBE et al. (2000), avaliando 1031 genótipos comerciais do banco de germoplasma do Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), constataram valores médios de 1,50 g Ca kg⁻¹ MS, embora tenha sido verificado genótipos com valores de até 3,10 g Ca kg⁻¹ de MS.

Como há variabilidade genética para o teor de cálcio em feijão, o desenvolvimento de cultivares com maior teor de cálcio será possível. Herdabilidade, no sentido amplo, variando de 0,48 a 0,50, para a concentração de cálcio nas vagens, foi observada por QUINTANA et al.

(1999). Porém, nenhum trabalho sobre a genética do cálcio nos grãos de feijão foi encontrado. Considerando que os grãos de feijão são amplamente utilizados para a alimentação, se faz necessário o estudo do controle genético desse caráter.

A ocorrência de efeito materno para teor de cálcio em grãos de feijão também deve ser investigada. Como o tegumento dos grãos e os cotilédones estão em gerações diferentes, sendo o primeiro tecido materno e o segundo produto da fecundação, o teor de cálcio nos grãos pode sofrer influência do genitor materno. Quando ocorre a presença de efeito materno, atenção especial deve ser dada no momento da seleção dos genótipos superiores, pois o fenótipo do descendente será dependente do genótipo materno, por isso, a seleção de plantas individuais na geração F_2 será totalmente ineficaz, pelo fato de que os fenótipos destas sementes serem semelhantes e representam a expressão do genótipo da planta F_1 (RAMALHO et al., 2000). Caracteres como o teor de proteína (LELEJI et al., 1972) e o tempo de cozimento dos grãos de feijão (RIBEIRO et al., 2006) apresentam efeito materno.

Sendo assim, foram objetivos desse trabalho: (1) investigar a ocorrência de efeito materno para o teor de cálcio em grãos de feijão; (2) estimar a herdabilidade e o ganho por seleção para o teor de cálcio em feijão.

MATERIAL E MÉTODOS

Os blocos de cruzamentos foram conduzidos em casa-de-vegetação, do Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS. A identificação dos genitores contrastantes para o teor de cálcio nos grãos foi baseada em avaliação prévia da composição de minerais em grãos de acessos de feijão do Banco de Germoplasma da UFSM. Os cruzamentos controlados foram realizados entre as cultivares Pérola x TPS Bonito e entre TPS Bonito x BRS Expedito. A cultivar Pérola e a cultivar TPS Bonito apresentam grão do tipo carioca e hábito de crescimento indeterminado, com guias longas (tipo III). A cultivar BRS Expedito pertence ao grupo comercial preto e possui hábito de crescimento indeterminado, com guias curtas (tipo II).

No período de outono/inverno de 2006 foram obtidas as sementes F_1 (1 ♀ x 2 ♂) e F_1 recíproco (2 ♀ x 1 ♂) para as combinações Pérola x TPS Bonito e TPS Bonito x BRS Expedito. Parte destas sementes foram semeadas na primavera/verão de 2006, obtendo-se as sementes F_2 (autofecundação das plantas F_1), F_2 recíproco (autofecundação das plantas F_1

recíproco), retrocruzamento 1 (RCP₁: F₁ x 1) e retrocruzamento 2 (RCP₂: F₁ x 2). Sementes F₁ e F₁ recíproco foram obtidas simultaneamente para possibilitar a avaliação de sementes desenvolvidas sob as mesmas condições de ambiente e com a mesma idade. No outono/inverno de 2007 foram obtidas as gerações F₃ (autofecundação das plantas F₂) e F₃ recíproco (autofecundação das plantas F₂ recíproco) e retrocruzamentos de segunda geração (autofecundação das plantas retrocruzadas) para serem utilizadas na obtenção das estimativas de herdabilidade e de ganho por seleção, caso fosse constatado efeito materno. Os cruzamentos foram realizados com emasculação do botão floral, empregando-se o método de entrelaçamento (PETERNELLI & BORÉM, 1999).

A semeadura foi realizada em vasos plásticos com capacidade para 5 litros, sendo conduzidas duas plantas em cada vaso. Uma mistura de solo + casca de arroz carbonizada + substrato comercial Plantimax® foi utilizada na proporção volumétrica de 2:1:1. O solo utilizado foi o Argissolo Bruno-Acinzentado alítico típico, com a seguinte composição química: pH (H₂O): 5,5; matéria orgânica: 2,2%; fósforo: 6,8 mg dm⁻³; potássio: 68 mg dm⁻³; cálcio: 5,5 cmol_c dm⁻³; magnésio: 2,7 cmol_c dm⁻³. A correção da fertilidade do solo e a aplicação de nitrogênio em cobertura foram efetuadas com base na análise química do solo. Irrigações diárias foram realizadas para suprir a demanda hídrica das plantas e o controle de pragas e de moléstias foram efetuados com a aplicação de produtos químicos, sempre que necessário, a fim de garantir a sanidade das plantas e a integridade dos botões florais.

Na maturação realizou-se a colheita e os grãos obtidos foram secados em estufa (65 a 70°C), até umidade média de 13%. Amostras de 5 g de grãos das gerações foram moídas em micro moinho até obtenção de partículas inferiores a 1 mm. As análises para a determinação do teor de cálcio foram realizadas no Laboratório de Ecologia Florestal (LABEFLO), na UFSM. O teor de cálcio foi determinado no extrato da digestão nítrica-perclórica, de acordo com a metodologia descrita em MIYAZAWA et al. (1999). A leitura foi realizada em espectrofotômetro de absorção atômica, utilizando comprimento de onda de 422,70 nm.

Os dados obtidos, em cada combinação híbrida, para os genitores e as gerações F₁ e F₂ e seus respectivos recíprocos foram submetidos à análise da variância e teste F a 5% de probabilidade de erro para verificar a existência de variabilidade genética entre as gerações, sendo adotado o delineamento experimental inteiramente casualizado. Para testar a hipótese de efeito materno, efetuou-se a comparação entre médias pelo teste t a 5% de significância para os contrastes P₁ vs P₂, P₁ vs F₁, P₂ vs F₁ recíproco, F₁ vs F₁ recíproco e F₂ vs F₂ recíproco, sendo utilizado a média de seis repetições para os genitores, quatro repetições para as gerações F₁ e F₁ recíproco e 12 repetições para as gerações F₂ e F₂ recíproco.

As estimativas dos parâmetros genéticos foram obtidas com as variâncias dos genitores P_1 e P_2 , e das gerações F_1 , F_2 , RCP_1 e RCP_2 , com base na geração dos cotilédones. Para cada combinação híbrida foram utilizadas seis repetições para os genitores, 12 repetições para a geração F_1 , 24 repetições para as geração F_2 e 12 repetições para as gerações RCP_1 e RCP_2 .

A herdabilidade foi estimada, em sentido amplo ($h^2_a = \sigma^2_G / \sigma^2_P$) e, em sentido restrito ($h^2_r = \sigma^2_A / \sigma^2_P$), de acordo com o método dos retrocruzamentos proposto por WARNER (1952). Sendo que: variância aditiva: $\sigma^2_A = 2\sigma^2_{F_2} - (\sigma^2_{RCP_1} + \sigma^2_{RCP_2})$, variância fenotípica: $\sigma^2_P = \sigma^2_{F_2}$ e variância de ambiente em F_2 : $\sigma^2_E = 1/3(\sigma^2_{F_1} + \sigma^2_{P_1} + \sigma^2_{P_2})$.

A heterose na geração F_1 foi quantificada pela heterose tradicional ($H\% = F_1 - P / P \times 100$) e pela heterobeltiose ($HT\% = F_1 - MP / MP \times 100$), sendo que, $P = P_1 + P_2 / 2$ e MP = melhor pai. Para a predição de ganhos por seleção, foi considerada a seleção de 25% das plantas com maior teor de cálcio nos grãos em F_2 . O ganho esperado, considerando-se a seleção e a recombinação das plantas superiores na geração F_2 , foi estimado pela expressão: $\Delta G = DS h^2_r$ e $\Delta G(\%) = (\Delta G \times 100) / \bar{F}_2$ onde: DS = Diferencial de seleção = $\bar{X}_s - \bar{X}_0$; \bar{X}_s = média das plantas selecionadas em F_2 , \bar{X}_0 = média da geração F_2 . Todas as análises estatísticas foram efetuadas com o auxílio do programa GENES (CRUZ, 2001).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise da variância entre os genitores (P_{11} e P_{22}) e as gerações F_1 , F_1 recíproco, F_2 e F_2 recíproco, para os cruzamentos entre Pérola x TPS Bonito e entre TPS Bonito x BRS Expedito, observou-se efeito significativo para o teor de cálcio nos grãos (Tabela 1). Assim, variabilidade genética foi obtida e essa condição é essencial para que se realize seleção e o melhoramento genético deste caráter.

Para o cruzamento Pérola x TPS Bonito, a amplitude observada entre as médias do teor de cálcio nos grãos dos genitores e das gerações obtidas variou entre 0,46 g (F_{1r}) a 1,02 g kg^{-1} de MS (F_1) (Figura 1). No cruzamento entre TPS Bonito x BRS Expedito, valores médios entre 0,58 g (F_1) a 0,97 g kg^{-1} de MS (F_{2r}) foram observados. Esses teores foram intermediários aos valores observados por MESQUITA et al. (2007) e inferiores aos constatados por BEEBE et al. (2000) e GUZMAN-MALDONADO et al. (2000).

O contraste entre os genitores Pérola (P_1) vs TPS Bonito (P_2) apresentou efeito significativo pelo teste t a 5% de probabilidade de erro (Figura 1). Resultado semelhante foi verificado para o contraste entre os genitores TPS Bonito (P_1) vs BRS Expedito (P_2). Sendo assim, em ambos os cruzamentos, os genitores foram contrastantes para o teor de cálcio nos grãos, possibilitando, assim, o desenvolvimento de gerações segregantes com variabilidade genética. Os contrastes P_1 vs F_1 e P_2 vs F_{1r} , para os dois cruzamentos, não foram significativos, ou seja, os grãos das gerações F_1 e F_{1r} não diferiram dos teores apresentados por seus respectivos genitores maternos. Diferença significativa entre o contraste F_1 vs F_1 recíproco foi observada nas duas combinações híbridas, indicando que o teor de cálcio varia em função do genótipo utilizado como genitor materno. A combinação dos resultados obtidos para os contrastes entre P_1 vs F_1 , P_2 vs F_{1r} e F_1 vs F_1 recíproco indica a ocorrência de efeito materno para o teor de cálcio em grãos de feijão, pois desta forma o teor de cálcio nos grãos não é produto da fertilização, mas sim caráter definido pelo genitor utilizado como mãe.

A constatação de efeito materno fica mais evidente quando é observado o comportamento das médias do teor de cálcio nos grãos para o contraste F_2 vs F_2 recíproco. Nesse caso, não foi constatada diferença significativa para ambos os cruzamentos, ou seja, nessa geração é que se manifesta o produto da fertilização. Efeito materno, também, foi observado para o teor de proteína (LELEJI et al., 1972) e para o tempo de cozimento dos grãos de feijão (RIBEIRO et al., 2006), os quais apresentaram diferenças recíprocas em geração F_1 e valores semelhantes em gerações F_2 . Assim, a seleção de plantas individuais com maior teor de cálcio nos grãos deverá ser iniciada em geração F_3 , que expressará a manifestação do genótipo da geração F_2 . Assim, a seleção será eficiente, pois segregação máxima será constatada em F_3 .

Estimativas de herdabilidade e de ganho por seleção nas diferentes combinações de cruzamentos são apresentadas na Tabela 2. Como foi observada a ocorrência de efeito materno para o teor de cálcio em feijão, considerou-se a geração dos cotilédones.

A decomposição da variância fenotípica evidenciou a predominância dos efeitos genéticos em relação aos efeitos de ambiente, para as duas combinações híbridas. Como a herdabilidade em sentido amplo é a relação entre a variância genética e a variância fenotípica, valores altos de herdabilidade foram obtidos. Herdabilidade, em sentido amplo, de 66,75% e de 74,65% foram obtidas para os cruzamentos entre Pérola x TPS Bonito e entre TPS Bonito x BRS Expedito. Em legumes e em grãos imaturos de feijão, estimativas de herdabilidade inferiores foram observadas (QUINTANA et al., 1996; QUINTANA et al., 1999).

Entretanto, como o feijão é uma planta autógama, com alta homozigose, as estimativas de herdabilidade em sentido restrito têm maior aplicação, pois levam em consideração apenas a variância aditiva. Essa variância é considerada de grande importância na variância genética, pois não segrega de geração para geração (CARVALHO et al., 2001). Os valores de variância genética e variância aditiva apresentados na Tabela 2, indicam que a variância aditiva foi a responsável pela maior parte da variância genética, em ambos os cruzamentos. Sendo assim, estimativas de herdabilidade em sentido restrito de moderada a alta foram obtidas: de 47,00% para a combinação Pérola x TPS Bonito e de 63,61% para a combinação TPS Bonito x BRS Expedito. Considerando os valores de herdabilidade observados é de se esperar que o teor de cálcio seja controlado por poucos pares de genes em feijão. Caracteres em que a expressão de um gene proporciona grande efeito no fenótipo podem ter a seleção facilitada, com a redução no tempo para a obtenção de linhagem com melhor qualidade nutricional.

Com relação às estimativas de heterose, foram constatados valores positivos para as duas combinações híbridas, ou seja, as gerações F_1 foram superiores a média de seus genitores (Tabela 2). Para heterobeltiose, no cruzamento Pérola x TPS Bonito, valor positivo de 9,45% foi obtido, indicando que a média da geração híbrida F_1 foi superior ao genitor de maior valor, ou seja, efeito de sobredominância se manifestou nesta combinação. Porém, esse comportamento não se repetiu no cruzamento entre TPS Bonito x BRS Expedito, onde valor de heterobeltiose de -10,50% foi verificado.

Valores máximos na geração F_2 , superiores aos valores observados nos genitores, foram obtidos para ambos os cruzamentos, manifestando a ocorrência de segregação transgressiva para o teor de cálcio em grãos de feijão. Valor de 1,29 g kg⁻¹ de MS para o cruzamento Pérola x TPS Bonito e de 1,47 g kg⁻¹ de MS para o cruzamento TPS Bonito x BRS Expedito foram obtidos, sendo esses valores 27,72% e 33,64% superiores aos genitores de maior valor para cada cruzamento, respectivamente.

O ganho por seleção é função da herdabilidade na geração em que as famílias foram avaliadas (RAMALHO et al., 1993). Considerando pressão de seleção na ordem de 25%, diferencial de seleção de 0,46 g kg⁻¹ foi obtido para o cruzamento Pérola x TPS Bonito e de 0,39 g kg⁻¹, para o cruzamento TPS Bonito x BRS Expedito, proporcionando ganhos por seleção significativos na ordem de 0,22 g kg⁻¹ (28,47%) e de 0,25 g kg⁻¹ (32,99%), respectivamente. Desta forma, ganhos consideráveis poderão ser obtidos já no primeiro ciclo de seleção, possibilitando o desenvolvimento de germoplasma de feijão mais nutritivo por meio de melhoramento clássico.

Sendo assim, o desenvolvimento de cultivares de feijão com elevado teor de cálcio nos grãos é possível, pois há variabilidade genética e gerações precoces com alto teor de cálcio nos grãos foram obtidas a partir dos cruzamentos entre Pérola x TPS Bonito e TPS Bonito x BRS Expedito. A seleção de plantas nessas gerações poderá ser útil para a prevenção dos sintomas da deficiência de cálcio, sem a necessidade de que a rotina diária de alimentação dos consumidores seja alterada.

CONCLUSÕES

Ocorre efeito materno na expressão do teor de cálcio em grãos de feijão.

A seleção de plantas F_2 obtidas a partir de cruzamentos entre genitores contrastantes poderá ser efetiva no desenvolvimento de germoplasma de feijão com maior teor de cálcio nos grãos, devido a obtenção de estimativas moderadas a altas de herdabilidade e de ganho por seleção.

Tabela 1 - Análise da variância do teor de cálcio em grãos de feijão, considerando os genitores (P₁ e P₂) e as gerações F₁, F₁ recíproco, F₂ e F₂ recíproco obtidas nos cruzamentos entre Pérola x TPS Bonito e TPS Bonito x BRS Expedito. Santa Maria – RS, UFSM, 2007

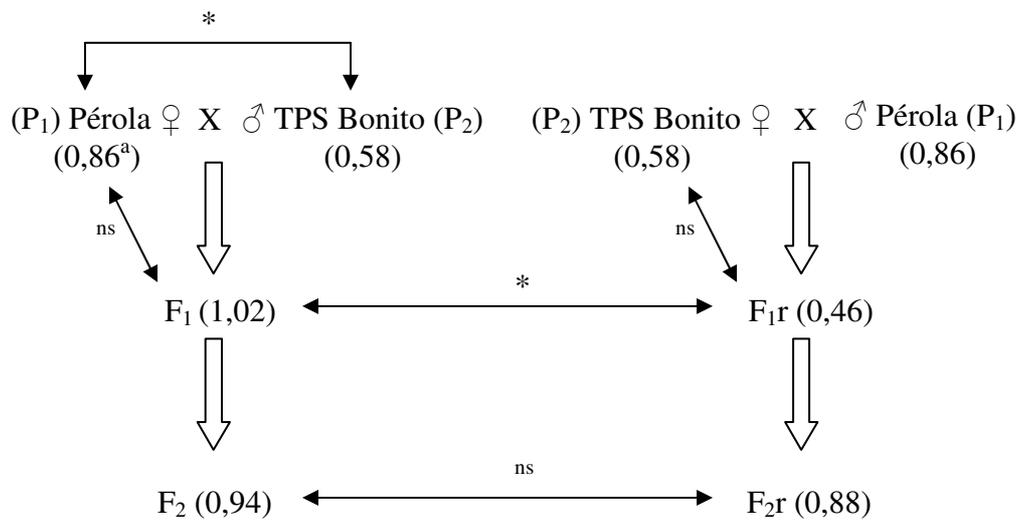
Causas da variação	GL	Quadrado médio (g kg ⁻¹ de MS)	
		Pérola x TPS Bonito	TPS Bonito x BRS Expedito
Tratamento	5	0,248939*	0,184869*
Resíduo	38	-	-
Total	43	-	-
Média		0,83	0,83
CVe (%)		19,81	23,02
CVg (%)		21,54	17,55
CVg/CVe		1,09	0,76

* Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade de erro.

CVe (%) = coeficiente de variação de ambiente.

CVg (%) = coeficiente de variação genético.

Cruzamento A



Cruzamento B

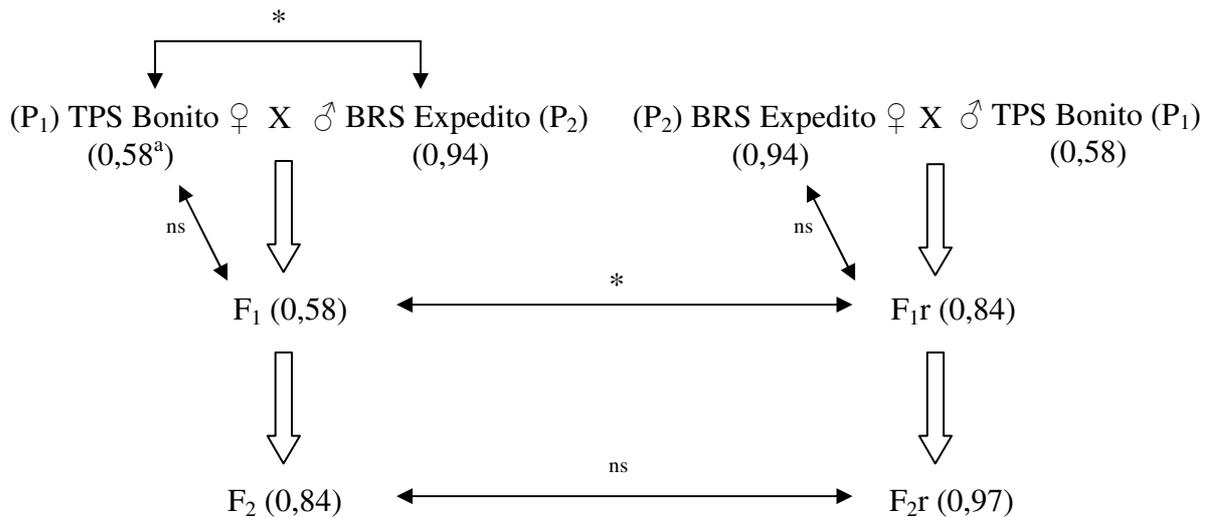


Figura 1 – Genitores (P₁ e P₂) e gerações F₁, F₁ recíproco, F₂, F₂ recíproco com seus respectivos teores médios de cálcio nos grãos e teste de significância dos contrastes entre P₁ vs P₂, P₁ vs F₁, P₂ vs F_{1r}, F₁ vs F_{1r} e F₂ vs F_{2r} obtidos no cruzamento A (Pérola x TPS Bonito) e cruzamento B (TPS Bonito x BRS Expedito). Santa Maria – RS, UFSM, 2007

^a = Teor de cálcio (g kg⁻¹ de MS); * = Contraste significativo; ns = Contraste não significativo.

Tabela 2 - Médias dos genitores (P_1 e P_2) e das gerações F_1 , F_2 , retrocruzamento 1 (RCP_1) e retrocruzamento 2 (RCP_2), com base na geração dos cotilédones, e seus respectivos desvios-padrão, parâmetros genéticos e predição de ganho por seleção para o teor de cálcio nos grãos de feijão para os cruzamentos entre Pérola x TPS Bonito e TPS Bonito x BRS Expedito. Santa Maria – RS, UFSM, 2007

Genitores e Gerações	Teor de cálcio (g kg^{-1} de MS)	
	Pérola (P_1) x TPS Bonito (P_2)	TPS Bonito (P_1) x BRS Expedito (P_2)
\bar{P}_1	0,86 \pm 0,15	0,58 \pm 0,17
\bar{P}_2	0,58 \pm 0,17	0,94 \pm 0,13
\bar{F}_1	0,94 \pm 0,24	0,84 \pm 0,14
\bar{F}_2	0,75 \pm 0,33	0,75 \pm 0,29
\bar{RCP}_1	0,76 \pm 0,36	0,78 \pm 0,27
\bar{RCP}_2	0,70 \pm 0,19	0,70 \pm 0,21
Média	0,77	0,76
CVe (%)	36,38	30,65
Variância fenotípica (σ^2_P)	0,107626	0,083726
Variância ambiente ($\sigma^2_{EF_2}$)	0,035787	0,021224
Variância genética (σ^2_G)	0,071839	0,062502
Variância aditiva (σ^2_A)	0,050589	0,053261
Herdabilidade ampla (h^2_a)	66,75	74,65
Herdabilidade restrita (h^2_r)	47,00	63,61
Heterose (H %)	30,28	10,43
Heterobeltiose (HT %)	9,45	-10,50
Valor máximo nos genitores	1,01	1,10
Valor mínimo nos genitores	0,43	0,43
Valor máximo na F_2	1,29	1,47
Valor mínimo na F_2	0,42	0,53
Plantas selecionadas na F_2	19, 21, 20, 16, 4 e 10	4, 20, 12, 17, 1 e 9
Média original da F_2	0,75	0,75
Média das plantas selecionadas	1,21	1,14
Diferencial de seleção (DS)	0,46	0,39
Ganho por seleção (ΔG)	0,22	0,25
Ganho por seleção (ΔG %)	28,47	32,99
Média predita para o primeiro ciclo após seleção	0,97	1,00

CVe (%) = coeficiente de variação de ambiente.

CAPÍTULO 2

POTENCIAL DE AUMENTO DO TEOR DE FERRO EM GRÃOS DE FEIJÃO POR MELHORAMENTO GENÉTICO

POTENTIAL FOR INCREASING THE IRON CONTENT IN COMMON BEAN THROUGH PLANT BREEDING

RESUMO

O desenvolvimento de germoplasma de feijão com maior teor de ferro nos grãos é uma alternativa para minimizar os problemas da deficiência desse mineral na alimentação. Para tanto é preciso verificar se ocorre efeito materno para o teor de ferro e conhecer a herança desse caráter, objetivos desse trabalho. As gerações F₁, F₁ recíproco, F₂, F₂ recíproco, F₃, F₃ recíproco, retrocruzamento 1 e retrocruzamento 2 foram obtidas para os cruzamentos entre Minuano x Diamante Negro e Diamante Negro x Iapar 44. O teor de ferro foi determinado com espectrofotômetro de absorção atômica. Variabilidade genética para o teor de ferro nos grãos foi obtida nos diferentes cruzamentos e constatou-se efeito materno na expressão do teor de ferro em feijão. Estimativas de herdabilidade em sentido amplo de 76,36% e em sentido restrito de 50,60% foram observadas, a partir do cruzamento entre Minuano x Diamante Negro. Foi possível aumentar em 94% o teor de ferro, em relação a cultivar Minuano (genitor com alto teor de ferro: 82,88 mg kg⁻¹ de MS), e uma planta F₂ com 161,20 mg kg⁻¹ de MS foi obtida por melhoramento genético. A seleção de plantas F₂ nas gerações segregantes poderá ser efetiva para o desenvolvimento de germoplasma de feijão com maior teor de ferro nos grãos.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., mineral, efeito materno, herdabilidade, ganho por seleção.

ABSTRACT

The development of common bean germplasm with higher iron content is an alternative to reduce problems caused by iron deficiency in diet. The objectives of this work were to verify the existence of maternal effect in iron content and know the inheritance of this trait. The F₁, F₁ reciprocal, F₂, F₂ reciprocal, F₃, F₃ reciprocal, backcross 1 e backcross 2 generations were obtained to the crossings among Minuano x Diamante Negro and Diamante Negro x Iapar 44. The iron content was determined by atomic absorption spectrophotometer. Genetic variability was obtained by iron content in different crossings and maternal effect in the expression of the iron content was observed. Broad-sense heritability estimative of the 76.36% and narrow-sense heritability estimative of the 50.60% were obtained in the crossing Minuano x Diamante Negro. The iron content of Minuano cultivar was 82.88 mg kg⁻¹ (parental with higher content) and F₂ plants showed 161.20 mg kg⁻¹ what represent an increase of 94% of iron content in comon bean grains through plant breeding. F₂ selection plants in segregant population can be effective in the development of common bean germplasm with higher iron content in grains.

Key words: *Phaseolus vulgaris* L., mineral, maternal effect, heritability, selection gain.

INTRODUÇÃO

É estimado que, aproximadamente, dois bilhões de pessoas no mundo apresentam anemia devido à deficiência de ferro (UNICEF, 2002). Como o ferro é essencial à formação da hemoglobina (FRANCO, 1999), a capacidade do sangue em carrear oxigênio é reduzida se a ingestão ou a absorção de ferro forem deficientes. Por consequência, sintomas como palidez, fraqueza, fadiga, tonturas, menor capacidade para o trabalho, maiores taxas de partos prematuros, menor peso corporal ao nascimento e maior mortalidade na infância são observados (CUNHA & CUNHA, 1998). Por isso, a deficiência de ferro deve ser considerada um problema grave de saúde pública.

Os alimentos de origem animal são fontes biodisponíveis de minerais (COSTA & LIBERATO, 2003). Entretanto, devido ao elevado custo, são inacessíveis às pessoas de menor poder aquisitivo. Nesse sentido, o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), que apresenta alto teor de ferro nos grãos (BARAMPAMA & SIMARD, 1993; BEEBE et al., 2000; GUZMÁN-MALDONADO et al., 2000; ARAÚJO et al., 2003; MESQUITA et al., 2007), representa uma alternativa para a suplementação de ferro na dieta. Além disso, é importante considerar que a prescrição medicamentosa de ferro, pode causar problemas gastrointestinais, implica em custos adicionais e na necessidade de estímulo para o consumo (OLIVARES & WALTER, 2004). A fortificação, por sua vez, pode provocar alterações na cor ou no sabor do alimento e resultar em menor biodisponibilidade do mineral (COSTA & LIBERATO, 2003). Já, o enriquecimento dos alimentos por meio de melhoramento clássico não apresenta esses problemas, pois o consumidor terá em sua dieta um produto de melhor qualidade nutricional, sem nenhum ônus adicional e sem modificações na forma de preparo e nas características organolépticas do alimento.

Para tanto é preciso identificar quais cultivares de feijão apresentam teores adequados de ferro para suprir as necessidades nutricionais diárias, que corresponde a 10 mg dia^{-1} , para homens, e a 15 mg dia^{-1} para mulheres (NRC, 1989). Isso porque o teor de ferro em feijão apresenta variabilidade genética (BARAMPAMA & SIMARD, 1993; BEEBE et al., 2000; GUZMÁN-MALDONADO et al., 2000; ARAÚJO et al., 2003) e valores compreendidos entre $71,37$ a $126,9 \text{ mg kg}^{-1}$ da matéria seca (MS) foram observados em 21 genótipos de feijão (cultivares comerciais e linhagens) cultivados em Minas Gerais, Brasil (MESQUITA et al.,

2007). Além disso, BEEBE et al. (2000) constataram que há variabilidade genética suficiente, no Banco de Germoplasma do Centro Internacional de Agricultura Tropical, Colômbia, para aumentar em 80% o conteúdo de ferro nos grãos de feijão.

Contudo, a genética do teor de ferro em feijão não é conhecida e há dúvidas se este caráter é dependente do tegumento ou do cotilédone. Como o tegumento é tecido materno e os cotilédones são produtos da fecundação, estes tecidos pertencem a gerações diferentes (RAMALHO et al., 2000) e isso terá implicação direta na condução das gerações segregantes obtidas pelo programa de melhoramento. Se há efeito materno, o fenótipo do descendente será dependente do genótipo materno, como observado para o teor de proteína (LELEJI et al., 1972) e para o tempo de cozimento dos grãos de feijão (RIBEIRO et al., 2006). Assim, a seleção de plantas individuais na geração F_2 será totalmente ineficaz, pelo fato de que os fenótipos destas sementes serem semelhantes e representarem a expressão do genótipo da planta F_1 (RAMALHO et al., 2000).

Sendo assim, foram objetivos desse trabalho: (1) investigar a existência de efeito materno para o teor de ferro em grãos de feijão; (2) estimar a herdabilidade e o ganho por seleção para o teor de ferro em feijão.

MATERIAL E MÉTODOS

Com base na avaliação prévia da composição de minerais em grãos de acessos de feijão do Banco de Germoplasma da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil, foram selecionadas três cultivares com teores diferenciados de ferro para a realização das hibridações controladas. Os cruzamentos biparentais foram efetuados entre Minuano x Diamante Negro e Diamante Negro x Iapar 44, considerando-se os seus respectivos recíprocos.

As hibridações controladas foram realizadas com emasculação do botão floral, adotando-se a técnica de esfregação, de acordo com a metodologia descrita em PETERNELLI & BORÉM (1999) e todas as gerações foram obtidas em casa-de-vegetação, do Departamento de Fitotecnia, da UFSM. Assim, sementes das gerações F_1 e F_1 recíproco foram obtidas no outono-inverno de 2006. Essas sementes foram semeadas, na primavera-verão de 2006, para a obtenção das gerações F_2 e F_2 recíproco (por autofecundação) e para a realização dos

retrocruzamentos: RCP₁ (F₁ x P₁) e RCP₂ (F₁ x P₂), considerando o cruzamento Minuano x Diamante Negro. Para a combinação Diamante Negro x Iapar 44, também obtiveram as gerações de retrocruzamentos: RCP₁ (F₁ x P₁) e RCP₂ (F₁ x P₂). O processo foi repetido no outono-inverno de 2007, para a obtenção de sementes de mesma idade das gerações F₁, F₁ recíproco, F₂, F₂ recíproco e retrocruzamentos. Além dessas, foram obtidas as gerações F₃ e F₃ recíproco - pela autofecundação das plantas F₂ e F₂ recíproco, e retrocruzamentos de segunda geração (autofecundação das plantas retrocruzadas) para os estudos de herança, caso fosse comprovada a hipótese de efeito materno para o teor de ferro em feijão.

As plantas de feijão foram cultivadas em vasos plásticos, com capacidade para 5 litros da mistura solo + substrato comercial Plantimax® + casca de arroz carbonizada, na proporção volumétrica de 2: 1: 1. O solo utilizado foi o Argissolo Bruno-Acinzentado alítico típico, com a seguinte composição química: pH (H₂O): 5,5; matéria orgânica: 2,2%; fósforo: 6,8 mg dm⁻³; potássio: 68 mg dm⁻³; cálcio: 5,5 cmol_c dm⁻³; magnésio: 2,7 cmol_c dm⁻³. A correção da fertilidade do solo foi realizada para os minerais considerados limitantes no solo.

A fim de garantir o desenvolvimento normal das plantas de feijão e a integridade dos botões florais foram realizadas irrigações diárias, controle de moléstias e de insetos, sempre que necessário. À medida que os legumes atingiram a maturação realizou-se a colheita de forma individual.

Os grãos foram secados em estufa (65 a 70°C) até umidade média de 13%, quando foram moídos em micro moinho até a obtenção de partículas inferiores a 1 mm. Amostras de 5 g de grãos foram armazenadas em potes plásticos, devidamente identificados, e conservadas sob refrigeração até o momento da determinação do teor de ferro no Laboratório de Ecologia Florestal (LABEFLO), da UFSM. A digestão nítrica-perclórica (HNO₃ + HClO₄, na proporção 3:1) foi realizada para a quantificação do teor de ferro e a leitura foi efetuada em espectrofotômetro de absorção atômica, com 248,3 nm de comprimento de onda, de acordo com a metodologia descrita pela EMBRAPA (1999).

Os dados obtidos, em cada combinação híbrida, para os genitores e para as gerações F₁, F₁ recíproco, F₂ e F₂ recíproco foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o teste F a 5% de probabilidade. Para testar a hipótese de efeito materno, considerou-se o modelo inteiramente casualizado, com quatro repetições para os genitores e para as gerações F₁ e F₁ recíproco e 12 repetições para as gerações F₂ e F₂ recíproco. As médias foram comparadas entre si, por contrastes, utilizando o teste t a 5% de significância.

As estimativas dos parâmetros genéticos foram obtidas com as variâncias dos genitores e das gerações F₁, F₂, retrocruzamento 1 (RCP₁) e retrocruzamento 2 (RCP₂), com

base na geração do cotilédone, para cada combinação híbrida. O modelo inteiramente casualizado foi considerado, com quatro repetições para os genitores (P_1 e P_2), doze repetições para as gerações F_1 , F_1 recíproco, RCP_1 e RCP_2 e 24 repetições para as gerações F_2 e F_2 recíproco.

A herdabilidade foi estimada, em sentido amplo ($h^2_a = \sigma^2_G / \sigma^2_P$) e, em sentido restrito ($h^2_r = \sigma^2_A / \sigma^2_P$), de acordo com o método dos retrocruzamentos proposto por WARNER (1952). Sendo que: variância aditiva: $\sigma^2_A = 2\sigma^2_{F_2} - (\sigma^2_{RCP_1} + \sigma^2_{RCP_2})$, variância fenotípica: $\sigma^2_P = \sigma^2_{F_2}$ e variância de ambiente em F_2 : $\sigma^2_E = 1/3(\sigma^2_{F_1} + \sigma^2_{P_1} + \sigma^2_{P_2})$.

A heterose na geração F_1 foi quantificada pela heterose tradicional ($H\% = F_1 - P / P \times 100$) e pela heterobeliose ($HT\% = F_1 - MP / MP \times 100$), sendo que, $P = P_1 + P_2 / 2$ e MP = melhor pai. Para a predição de ganhos por seleção, foi considerada a seleção de 25% das plantas com maior teor de ferro nos grãos em F_2 . O ganho esperado, considerando-se a seleção e a recombinação das plantas superiores na geração F_2 , foi estimado pela expressão: $\Delta G = DS h^2_r$ e $\Delta G(\%) = (\Delta G \times 100) / \bar{F}_2$ onde: DS = Diferencial de seleção = $\bar{X}_s - \bar{X}_0$; \bar{X}_s = média das plantas selecionados em F_2 , \bar{X}_0 = média da geração F_2 . Todas as análises estatísticas foram efetuadas com o auxílio do programa GENES (CRUZ, 2001).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise de variância observou-se efeito significativo para o teor de ferro nos grãos de feijão, a partir dos cruzamentos entre Minuano x Diamante Negro e Diamante Negro x Iapar 44 (Tabela 3). Sendo assim, o teor de ferro apresentou variabilidade genética entre os genitores e as gerações F_1 , F_1 recíproco, F_2 e F_2 recíproco, em cada combinação híbrida.

O teor de ferro variou de 62,81 (Diamante Negro) a 92,66 mg kg⁻¹ da MS, no cruzamento realizado entre Minuano x Diamante Negro (Figura 2). No cruzamento entre Diamante Negro x Iapar 44, apesar dos genitores não terem sido contrastantes para o teor de ferro, maior amplitude foi verificada: 56,57 (geração F_1 recíproco) a 105,72 mg kg⁻¹ da MS (geração F_2 recíproco) e fenótipos transgressivos foram obtidos. Esses valores foram muito semelhantes aos teores de ferro observados em cultivares e em linhagens de feijão em cultivo na África (BARAMPAMA & SIMARD, 1993), na Colômbia (BEEBE et al., 2000) e no Brasil (MESQUITA et al., 2007). Entretanto, ARAÚJO et al. (2003) constataram valores

inferiores e variação entre 23,40 a 87,50 mg kg⁻¹ da MS foi obtida para linhagens avançadas e cultivares de feijão em cultivo no Paraná, Brasil. No México, GUZMÁN-MALDONADO et al. (2000) observaram valores superiores de ferro, entre 84 a 280 mg kg⁻¹ da MS, em acessos de feijão miúdo, silvestre e cultivado. Assim, ampla variabilidade genética para o teor de ferro foi constatada em feijão cultivado e silvestre que pode ser explorada pelo melhoramento genético.

No cruzamento Minuano (82,88 mg kg⁻¹ da MS) x Diamante Negro (62,81 mg kg⁻¹ da MS), o contraste P₁ vs P₂ foi significativo, ou seja, o teste t discriminou diferenças genéticas entre os genitores (Figura 2). Os contrastes P₁ vs F₁ e P₂ vs F_{1r} não foram significativos, sendo assim, as médias das gerações F₁ e F₁ recíproco foram similares ao genitor feminino utilizado nos cruzamentos controlados, comprovando que o teor de ferro em feijão não depende dos cotilédones, mas sim do tegumento, que é tecido materno. As gerações F₁ e F₁ recíproco diferiram significativamente, demonstrando que o fenótipo do descendente será dependente do genótipo materno. O contraste F₂ vs F₂ recíproco não foi significativo, reforçando que os fenótipos destas sementes são semelhantes e que representam a expressão do genótipo das plantas F₁ e F₁ recíproco, respectivamente, e por isso a seleção de plantas individuais nas gerações F₂ e F₂ recíproco será totalmente ineficaz (RAMALHO et al., 2000).

Dessa maneira, foi constatado que ocorre efeito materno para o teor de ferro em feijão, a semelhança do que já foi relatado para o teor de proteína (LELEJI et al., 1972) e para o tempo de cozimento dos grãos de feijão (RIBEIRO et al., 2006). Para esses caracteres, o genótipo da F₁ somente se expressará em F₂, pois tegumento e cotilédones são tecidos que estão em gerações diferentes, por isso a seleção somente será eficiente em plantas F₃, que constituem a expressão genética da F₂ (RAMALHO et al., 2000). Essas informações são relevantes para a condução das gerações segregantes pelo programa de melhoramento, pois será preciso considerar a geração dos cotilédones na seleção de plantas de feijão com maior teor de ferro nos grãos.

No cruzamento Diamante Negro x Iapar 44 não foi possível o estudo de efeito materno, pois o contraste P₁ vs P₂ não foi significativo (Figura 2). Entretanto, as gerações obtidas apresentaram alto teor de ferro e, por isso, serão mantidas pelo programa de melhoramento.

Considerando que o teor de ferro em feijão é função do tegumento dos grãos, a geração dos cotilédones foi considerada para a obtenção das estimativas de herdabilidade e de ganho por seleção (Tabela 4).

A decomposição da variância fenotípica evidenciou a predominância dos efeitos genéticos em relação aos de ambiente, no cruzamento Minuano x Diamante Negro, e herdabilidade, em sentido amplo, de alta magnitude (h^2_a : 76,36%) foi obtida (Tabela 4). Por sua vez, herdabilidade, em sentido restrito, de média magnitude (h^2_r : 50,60%) foi verificada, em razão da variância aditiva não constituir a totalidade da variância genética e os efeitos da variância de ambiente também serem expressivos. No melhoramento de autógamas, a variância aditiva é de grande importância, pois não segrega de geração para geração, possibilitando o êxito na seleção em gerações segregantes (CARVALHO et al., 2001). No presente trabalho, não foi possível fazer-se um estudo mais aprofundado dos efeitos de dominância e/ou sobredominância que, provavelmente, também atuam na expressão do teor de ferro em feijão, devido ao número reduzido de repetições obtidos em cada geração. Isso pode ser atribuído a dificuldade de se realizar os cruzamentos controlados em feijão e a baixa eficiência de pagamento obtida, também mencionados por KELLY & BLISS (1975), em estudo do controle genético do teor de metionina em feijão.

No entanto, considerando os valores obtidos de herdabilidade em sentido amplo e restrito, espera-se eficiência na seleção de plantas de feijão com alto teor de ferro. Além disso, o potencial de utilização na alimentação dos grãos das gerações obtidas deverá ser investigado na prevenção de sintomas como palidez, fraqueza, fadiga, tonturas e menor capacidade para o trabalho, freqüentemente associados à deficiência de ferro no organismo (CUNHA & CUNHA, 1998). A biodisponibilidade do ferro também precisa ser avaliada, pois os grãos das leguminosas são ricos em ácido fítico, que é um importante inibidor da absorção de ferro (LUCCA et al., 2002).

Heterose de 27,20% foi obtida no cruzamento Minuano x Diamante Negro, indicando que foi possível obter híbridos F_1 superiores a média dos parentais (Tabela 4). Resultado semelhante foi verificado para a heterobeltiose (HT: 11,80%) e híbridos F_1 superiores ao melhor parental foram constatados. Sendo assim, vigor híbrido foi observado para o teor de ferro em feijão e a hipótese de sobredominância deve ser considerada.

Além disso, obtiveram-se plantas F_2 com teores de ferro superiores ao observado na cultivar Minuano (genitor com alto teor de ferro: 82,88 mg kg^{-1} da MS). Assim, incrementos de 94% no teor de ferro foram constatados por melhoramento clássico, quando se considera o valor máximo obtido em geração F_2 (161,20 mg kg^{-1} da MS). A possibilidade de aumentar em 80% o teor de ferro em grãos de feijão já havia sido cogitada por BEEBE et al. (2000), em função da variabilidade genética observada em germoplasma de feijão da coleção do Centro Internacional de Agricultura Tropical, na Colômbia. Porém, esse é o primeiro registro de

obtenção de um genótipo com 94% a mais de ferro nos grãos, por meio de melhoramento genético. Valor tão elevado de ferro só havia sido registrado em feijão silvestre e miúdo (GUZMÁN-MALDONADO et al., 2000). No entanto, considerando que teores altos de ferro foram obtidos em F₂, geração com grande heterogeneidade e heterozigose, a avaliação em gerações avançadas se faz necessária para observar como será a segregação, pois há indícios de efeito de dominância e/ou sobredominância para esse caráter.

O ganho na seleção é função da herdabilidade na geração em que as famílias foram avaliadas (RAMALHO et al., 1993). Na combinação Minuano x Diamante Negro, ganho genético de 11,14% pode ser esperado e geração segregante com 141,74 mg kg⁻¹ da MS de ferro poderá ser obtida após o primeiro ciclo de seleção (Tabela 4).

No cruzamento entre Diamante Negro x Iapar 44 também se observou vigor híbrido em F₁, a semelhança do constatado no cruzamento Minuano x Diamante Negro (Tabela 4). O valor máximo de ferro obtido em plantas F₂ foi de 160,40 mg kg⁻¹ da MS, confirmando o potencial de se aumentar o teor de ferro em grãos de feijão por meio de melhoramento genético.

Considerando que a anemia é um problema grave de saúde pública e que a suplementação medicamentosa pode apresentar problemas gastrointestinais (OLIVARES & WALTER, 2004) e a fortificação causa, muitas vezes, alterações na cor ou no sabor do produto (COSTA & LIBERATO, 2003), é preciso avaliar alternativas eficientes e com custos acessíveis a população. O enriquecimento dos alimentos por meio de melhoramento clássico é possível, pois há variabilidade genética e existe a possibilidade de obtenção de gerações segregantes com alto teor de ferro, a partir de cruzamentos entre as cultivares Minuano x Diamante Negro e Diamante Negro x Iapar 44.

CONCLUSÕES

O teor de ferro em feijão apresenta efeito materno.

A seleção de plantas F₂ em gerações segregantes pode ser efetiva no desenvolvimento de germoplasma de feijão com maior teor de ferro nos grãos, em virtude da alta herdabilidade e ganho por seleção obtidos.

Tabela 3 - Análise da variância do teor de ferro em grãos de feijão, considerando os genitores (P₁ e P₂) e as gerações F₁, F₁ recíproco, F₂ e F₂ recíproco obtidas nos cruzamentos entre Minuano x Diamante Negro e Diamante Negro x Iapar 44. Santa Maria – RS, UFSM, 2007

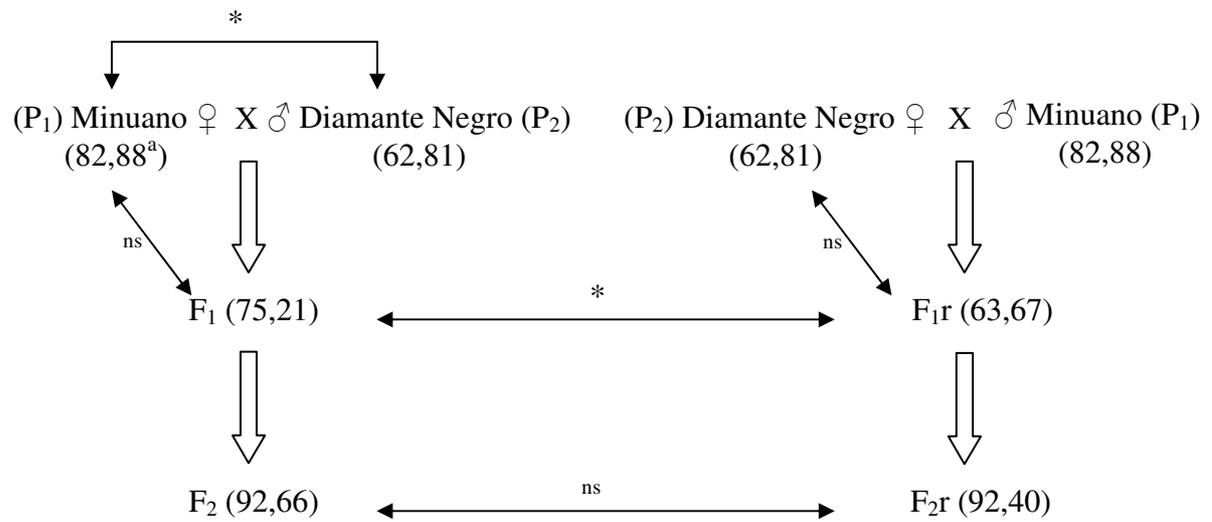
Causas da variação	GL	Quadrado médio (mg kg ⁻¹ da MS)	
		Minuano x Diamante Negro	Diamante Negro x Iapar 44
Tratamento	5	1101,72*	2970,13*
Resíduo	34	-	-
Total	39	-	-
Média		83,97	86,68
CVe %		21,82	22,23
CVg %		13,20	23,54
CVg/CVe		0,60	1,06

* Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade de erro.

CVe (%) = coeficiente de variação de ambiente.

CVg (%) = coeficiente de variação genético.

Cruzamento A



Cruzamento B

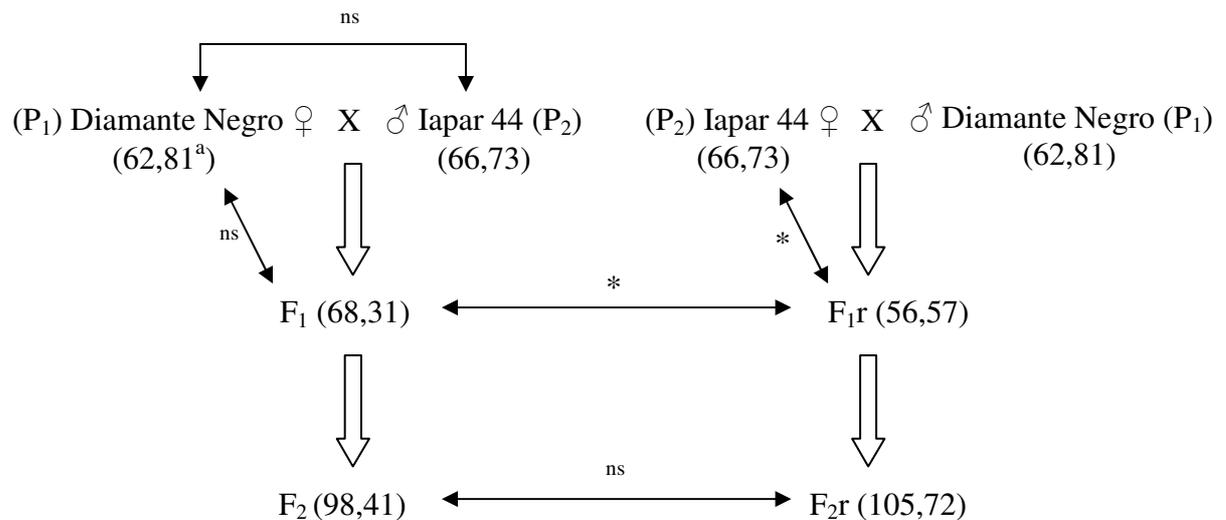


Figura 2 – Genitores (P₁ e P₂) e gerações F₁, F₁ recíproco, F₂, F₂ recíproco com seus respectivos teores médios de ferro nos grãos e teste de significância dos contrastes entre P₁ vs P₂, P₁ vs F₁, P₂ vs F_{1r}, F₁ vs F_{1r} e F₂ vs F_{2r} obtidos no cruzamento A (Minuano x Diamante Negro) e no cruzamento B (Diamante Negro x Iapar 44). Santa Maria – RS, UFSM, 2007

^a = Teor de ferro (mg kg⁻¹ de MS); * = Contraste significativo; ns = Contraste não significativo.

Tabela 4 - Médias dos genitores (P_1 e P_2) e das gerações F_1 , F_2 , retrocruzamento 1 (RCP_1) e retrocruzamento 2 (RCP_2), com base na geração dos cotilédones, parâmetros genéticos e predição de ganho por seleção para o teor de ferro nos grãos de feijão para os cruzamentos entre Minuano x Diamante Negro e Diamante Negro x Iapar 44. Santa Maria – RS, UFSM, 2007

Genitores e Gerações	Teor de ferro (mg kg^{-1} de MS)	
	Minuano (P_1) x D. Negro (P_2)	D. Negro (P_1) x Iapar 44 (P_2)
\bar{P}_1	82,88 *	62,81 *
\bar{P}_2	62,81	66,73
\bar{F}_1	92,66	98,41
\bar{F}_2	127,53	110,45
\bar{RCP}_1	131,28	97,50
\bar{RCP}_2	89,02	116,42
Média	108,81	101,72
CVe%	20,24	22,72
Variância fenotípica (σ^2_P)	703,83	790,57
Variância ambiente ($\sigma^2_{EF_2}$)	166,40	407,57
Variância genética (σ^2_G)	537,43	383,00
Variância aditiva (σ^2_A)	356,16	782,15
Herdabilidade ampla (h^2_a)	76,36	48,45
Herdabilidade restrita (h^2_r)	50,60	98,93
Heterose (H %)	27,20	51,94
Heterobeltiose (HT %)	11,80	47,47
Valor máximo nos genitores	94,25	70,98
Valor mínimo nos genitores	53,95	53,95
Valor máximo na F_2	161,20	160,40
Valor mínimo na F_2	81,00	60,23
Plantas selecionadas na F_2	13, 2, 14, 23, 7 e 1	3, 9, 15, 13, 1 e 7
Média original da F_2	127,53	110,45
Média das plantas selecionadas	155,61	144,00
Diferencial de seleção (DS)	28,08	33,55
Ganho por seleção (ΔG)	14,21	33,19
Ganho por seleção (ΔG %)	11,14	30,05
Média predita para o primeiro ciclo após seleção	141,74	143,64

* Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade de erro.

CVe (%) = coeficiente de variação de ambiente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conhecimento da genética dos caracteres selecionados contribui para a obtenção de sucesso pelo programa de melhoramento. Nesse sentido, a maior compreensão da genética dos teores de cálcio e de ferro em grãos de feijão é indispensável para o desenvolvimento de germoplasma nutracêutico.

Assim, foi identificada presença de efeito materno na expressão do teor de cálcio e de ferro nos grãos de feijão e, em vista disso, a seleção de plantas, deverá iniciar em geração F_3 , quando a segregação fenotípica será constatada.

Além disso, estimativas de herdabilidade em sentido amplo e em sentido restrito, moderadas a altas, foram obtidas para os teores de cálcio e de ferro em grãos de feijão, o que sugere facilidades no processo de seleção, pois, provavelmente, estes caracteres são controlados por poucos genes de grande efeito.

Também, foram obtidas plantas F_2 com teores superiores de cálcio e de ferro nos grãos em relação aos genitores utilizados nos cruzamentos controlados. Dessa maneira, é possível aumentar o teor desses minerais em grãos de feijão por meio de melhoramento clássico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, J. J. B. Minerais. In: MAHAN, L. R.; SCOTT-STUMP, S. **Krause: alimentos, nutrição & dietoterapia**. São Paulo: Roca, 2002. cap. 5, p.106-145.

ARAÚJO, R. de. et al. Genotype x environment interaction effects on the iron content of common bean grains. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.3, n.4, p.269-274, 2003.

BARAMPAMA, Z.; SIMARD, R.E. Nutrient composition, protein quality and antinutritional factors of some varieties of dry beans (*Phaseolus vulgaris*) grown in Burundi. **Food Chemistry**, v.47, n.2, p.159-167, 1993.

BEEBE, S.; GONZALEZ, A.V.; RENGIFO, J. Research on trace minerals in the common bean. **Food and Nutrition Bulletin**, v.21, n.4, p.387-391, 2000.

BRYANT, R.J.; CADOGAN, J.; WEAVER, C.M. The new dietary reference intakes for calcium: implications for osteoporosis. **Journal of the American College of Nutrition**, v.18, n.5, p.406-412, 1999.

CARVALHO, F.I.F. et al. **Estimativas e implicações da herdabilidade como estratégia de seleção**. Pelotas: UFPEL, 2001. 98 p.

CONAB. (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO). **Décimo Segundo Levantamento de avaliação da safra 2006/2007**. Brasília, 2007. 24 p. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/12_levantamento_set2007.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2007.

COSTA, N.M.B.; LIBERATO, S.C. Biotecnologia na nutrição e saúde. In: COSTA, N.M.B.; BORÉM, A. (Ed.) **Biotecnologia e nutrição: saiba como o DNA pode enriquecer os alimentos**. São Paulo: Nobel, 2003. Cap.3. p. 71-127.

CUNHA, D.F.; CUNHA, S.F.C. Microminerais In: DUTRA-DE-OLIVEIRA, J. E.; MARCHINI, J. S. (Ed.) **Ciências nutricionais**. São Paulo: Sarvier, 1998. cap. 9, p.141-165.

CRUZ, C.D. **Programa Genes: versão Windows, aplicativo computacional em genética e estatística**. Viçosa: UFV, 2001. 648 p.

DELLA PENNA, D. Nutritional genomics: manipulating plant micronutrients to improve human health. **Science**, v.285, n.16, p.375-379, 1999.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos; Embrapa Informática Agropecuária; Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370 p.

ESTEVES, A.M. **Comparação química e enzimática de seis linhagens de feijão**. 2000. 55p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

FRANCO, G. **Tabela de composição química dos alimentos**. 9. ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 1999. 307 p.

GRUSAK, M.A. et al. Intrinsic ^{42}Ca -Labelling of green bean pods for use in human bioavailability studies. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.70, n.1, p.11-15, 1996.

GUZMÁN-MALDONADO, S.H.; ACOSTA-GALLEGOS, J.; PAREDES-LÓPEZ, 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.13, p.1874-1881, 2000.

KELLY, J.D.; BLISS, F.A. Heritability estimates of percentage seed protein and available methionine and correlations with yield in dry beans. **Crop Science**, v.15, n.6, p.753-757, 1975.

LAJOLO, F.M.; GENOVESE, M.I.; MENEZES, E.W. Qualidade nutricional. In: ZIMMERMANN, M.J.O. (Coord.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafós, 1996. p.23-56.

LELEJI, O.I. et al. Inheritance of crude protein percentage and its correlation with seed yield in beans, *Phaseolus vulgaris* L. **Crop Science**, v.12, n.2, p.168-171, 1972.

LUCCA, P.; HURREL, R.; POTRYKUS, I. Fighting iron deficiency anemia with iron-rich rice. **Journal of the American College of Nutrition**, v.21, n.3, p.184S-190S, 2002.

MESQUITA, F.R. et al. Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): composição química e digestibilidade protéica. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, n.4, p.1114-1121, 2007.

- MIGLIORANZA, E. et al. Teor de cálcio em frutos de diferentes cultivares de feijão-vagem. **Horticultura Brasileira**, v.21, n.2, p.158-161, 2003.
- MILLER, D.D. Minerales. In: FENNEMA, O.R. **Química de los alimentos**. 2. ed. Zaragoza: Acribia, 2000. 1087p.
- MIYAZAWA, M. et l. Análises químicas de tecido vegetal. In: SILVA, F.C. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos, 1999. p. 171-223.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). **Recommend dietary allowances**. 10th.ed. Food and Nutrition Board, Commission on Life Sciences. Washington DC: National Academy Press, 1989. 284 p.
- OLIVARES, M.; WALTER, T. Causas y consecuencias de la deficiencia de hierro. **Revista de Nutrição**, v.17, n.1, p.5-14, 2004.
- PETERNELLI, L.A.; BORÉM, A. Hibridação em Feijão. In: BORÉM, A. (Ed.) **Hibridação Artificial de Plantas**. Viçosa: UFV, 1999. p. 269-294.
- QUINTANA, J.M. et al. Variation in calcium concentration among sixty S₁ families and four cultivars of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of American Society for Horticultural Science**, v.121, n.5, p.789-793, 1996.
- QUINTANA, J.M. et al. Comparison of pod calcium concentration between two snap bean populations. **Journal of American Society for Horticultural Science**, v.124, n.3, p.273-276, 1999.
- RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B.; PINTO, C.A.B.P. **Genética na agropecuária**. Lavras: UFLA, 2000. 472 p.
- RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B.; ZIMMERMANN, M.J. de O. **Genética quantitativa em plantas autógamas**: aplicações ao melhoramento genético do feijoeiro. Goiânia: UFG, 1993. 271 p.
- RIBEIRO, S.R.R.P.; RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A.F.B. Maternal effect associated to cooking quality of common bean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.6, n.4, p.304-310, 2006.

RUSSO, L.A.T. Osteoporose pós-menopausa: opções terapêuticas. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia e Metabologia**, v.45, n.4, p.401-406, 2001.

SATHE, S. K.; DESHPANDE, S. S.; SALUNKHE, D. K. Dry beans of Phaseolus. A review. Part 2. Chemical composition: Carbohydrates, fiber, minerals, vitamins and lipids. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 21, n.2, p. 41-91, 1984.

SEBASTIÁ, V. et al. Effects of legume processing on calcium, iron and zinc contents and dialysabilities. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.81, n.12, p.1180-1185, 2001.

SILVA, T.R.B.; LEMOS, L.B.; TAVARES, C.A. Produtividade e característica tecnológica de grãos em feijoeiro adubado com nitrogênio e molibdênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.5, p.739-745, 2006.

STEVENS, M.A. Varietal influence on nutritional value. In: WHITE, P.L.; SELVEY, N. (Ed.). **Nutritional quality of fresh and vegetables**. New York: Futura Publishing, 1974. p.87-110.

UNICEF. **Nutrition**. 18 nations fortify foods. Disponível em: [http:// www.unicef.org](http://www.unicef.org). Acesso em: 7 jul.2002.

WARNER, J.N. A method for estimating heritability. **Agronomy Journal**, v.44, n.8, p.427-430, 1952.

ANEXOS

Anexo 1 – Tipo de grão, Programa de Melhoramento obtentor/mantenedor da cultivar (origem), genealogia e hábito de crescimento (HC) das cultivares de feijão utilizadas como genitores para os estudos da genética dos teores de cálcio e de ferro em grãos de feijão. Santa Maria – RS, UFSM, 2007.

Cultivar	Tipo de grão	Origem*	Genealogia**	HC***
Pérola	Carioca	Embrapa – Arroz e Feijão	Seleção da cultivar Aporé	III
TPS Bonito	Carioca	FT	Iapar 14 / Carioca 80	III
BRS Expedito	Preto	Embrapa – Clima Temperado	CNF 5491 / FT Tarumã	II
Minuano	Preto	Embrapa – Clima Temperado	A 358 /// A 176 // G 4326 / XAN 40	III
Diamante Negro	Preto	Embrapa – Arroz e Feijão	XAN 87 / A 367	II
Iapar 44	Preto	IAPAR	BAC 2 / RAI 12 // Rio Tibagi / Cornell 49242	II

*Origem: Embrapa – Arroz e Feijão: Centro Nacional de Pesquisa em Arroz e Feijão, Goiânia, GO; FT: Francisco Terasawa Sementes, Ponta Grossa, PR; Embrapa – Clima Temperado: Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado, Pelotas, RS; IAPAR: Instituto Agrônomo do Paraná, Londrina, PR.

**Genealogia: /: cruzamento simples; //: cruzamento duplo; /// :cruzamento triplo.

***HC: II: hábito de crescimento indeterminado com guias curtas; III: hábito de crescimento indeterminado com guias longas.