



JULIANA SAWADA BURATTO

**TEORES DE MINERAIS E PROTEÍNAS EM
GRÃOS DE FEIJÃO E ESTIMATIVAS DE
PARÂMETROS GENÉTICOS**

**LAVRAS – MG
2012**

JULIANA SAWADA BURATTO

**TEORES DE MINERAIS E PROTEÍNAS EM GRÃOS DE FEIJÃO E
ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas,
área de concentração em Genética e Melhoramento de
Plantas, para a obtenção do título de Doutora.

Orientador:

Dr. João Cândido de Souza

Coorientadora:

Dra. Vânia Moda-Cirino

**LAVRAS – MG
2012**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Buratto, Juliana Sawada.

Teores de minerais e proteínas em grãos de feijão e estimativas de parâmetros genéticos / Juliana Sawada Buratto. – Lavras : UFLA, 2012.

147 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: João Cândido de Souza.

Bibliografia.

1. *Phaseolus vulgaris* L. 2. Variabilidade genética. 3. Qualidade nutricional. 4. Melhoramento genético. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.523

JULIANA SAWADA BURATTO

**TEORES DE MINERAIS E PROTEÍNAS EM GRÃOS DE FEIJÃO E
ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas,
área de concentração em Genética e Melhoramento de
Plantas, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 08 de maio de 2012

Dra. Vânia Moda-Cirino	IAPAR
Dra. Ângela de Fátima Barbosa Abreu	EMBRAPA
Dr. José Eustáquio Carneiro	UFV
Dr. João Bosco dos Santos	UFLA

Dr. João Cândido de Souza
Orientador

**LAVRAS – MG
2012**

AGRADECIMENTOS

A Deus, que guia meus pensamentos e ações.

À Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas pela oportunidade de realização do doutorado.

Ao corpo docente do programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas e em especial ao Prof. Dr. João Candido, meu orientador pelos conhecimentos transmitidos.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

A Dra. Vânia Moda-Cirino que tenho como exemplo profissional e de ser humano, agradeço pela coorientação.

Ao Instituto Agronômico do Paraná - Iapar pelo suporte técnico e infraestrutura que foram fundamentais para a realização deste trabalho. A técnica Rosinei Aparecida de Souza da área de Solos do Iapar pelo auxílio nas análises laboratoriais.

À secretária do Programa de pós-graduação em Genética e Melhoramento Heloíza Almeida por sua atenção e eficiência.

A minha família pelo apoio e compreensão ao longo deste percurso, especialmente aos meus pais Osnildo Buratto e Jacqueline H. N. Sawada Buratto os quais sempre me incentivaram na busca de meus sonhos, aos meus queridos irmãos Fábio e Eduardo e aos meus avós Luiz Sawada e Eiko Nakao Sawada.

Obrigada!

RESUMO GERAL

O melhoramento do valor nutritivo do feijão representa um grande benefício social à população que tem seus grãos como alimento básico. Este trabalho teve como objetivos: a) estudar a variabilidade genética para teores de minerais e proteína em acessos do banco de germoplasma de feijão do IAPAR; b) avaliar a variabilidade genética para o acúmulo dos minerais K, P, Ca, Mg, Cu, Zn, B, Mn, Fe e S no tegumento, cotilédone e eixo embrionário em cultivares de feijão pertencentes a diferentes centros de origem; c) estimar os parâmetros genéticos e o potencial de ganhos na seleção para os teores de Fe, Zn, Ca, Mg e P. No primeiro experimento, no banco de germoplasma do IAPAR foram avaliados os teores de proteína e minerais (Fe, Zn, Cu, Mn, P, Ca, K, Mg, S) nos grãos de 1.480 acessos de feijão oriundos de quatro ambientes. No segundo experimento, a acumulação dos minerais (K, P, Ca, Mg, Cu, Zn, B, Mn, Fe e S) foi verificada em diferentes estruturas em sementes (tegumento, cotilédone e eixo embrionário) em cultivares de feijão pertencentes a diferentes grupos comerciais e centros de origens. No terceiro experimento, foram estimados os parâmetros genéticos relacionados aos teores de Fe, Zn, Ca, Mg e P. Os cruzamentos foram realizados entre as cultivares: FT Nobre x IPR Gralha e Diamante Negro x IPR Chopim. Neste experimento foram semeados os genitores (P_1 e P_2), as gerações F_1 , F_2 , RC_1 ($P_1 \times F_1$), RC_2 ($P_2 \times RC_2$), e após a maturação as plantas foram colhidas manualmente e nas sementes foram quantificados os teores de Fe, Zn, Ca, Mg e P. O banco de germoplasma inclui feijões silvestres, variedades antigas, linhagens e cultivares em uso. Entre os acessos pode ser observada uma grande diversidade genética para todos os nutrientes encontrados nos grãos. Esse fato pode ser verificado pela grande amplitude de variação encontrada para todos os nutrientes nos acessos avaliados. No segundo experimento foi observado que a composição mineral pode variar em função da cultivar utilizada e da estrutura da sementes (tegumento, eixo embrionário e cotilédone) avaliada. No que se refere à maneira de como os minerais estão distribuídos na semente foi verificado que os minerais K, P, Mg, Cu, Zn, B, Mn, Fe e S encontram-se em maior porcentagem no cotilédone da semente, exceto o mineral Ca que encontra-se predominantemente no tegumento. No terceiro experimento, nos cruzamentos avaliados foi possível constatar a predominância da variância genética em relação à variância ambiental. Com relação ao teor dos minerais Fe, Zn, Ca, Mg e P, é viável incrementar os teores desses minerais nos grãos com o uso de métodos de melhoramento convencional, pois foi verificado ganhos com a seleção.

Palavras-chave: Melhoramento de feijão. Qualidade dos grãos. Qualidade nutricional. Minerais. Proteína

GENERAL ABSTRACT

The improvement aimed to increase the nutritional value of common bean is a great social benefit to the population that has its grains as a staple food. This study had as objective: a) study the genetic variability for the minerals levels and protein in accesses to the germplasm bank of common beans at IAPAR; b) assess the genetic variability for the accumulation of minerals K, P, Ca, Mg, Cu, Zn, B, Mn, Fe and S in the seed coat, cotyledons and embryonic axis in common bean cultivars belonging to different centers of origin; c) to estimate the genetic parameters and potential of gains in selection for the levels of Fe, Zn, Ca, Mg and P. In the first experiment, to the germplasm bank at IAPAR were evaluated protein levels and minerals (Fe, Zn, Cu, Mn, P, Ca, K, Mg, S) in the grains of 1.480 accessions of common bean from four environments. In the second experiment, the accumulation of minerals (K, P, Ca, Mg, Cu, Zn, B, Mn, Fe and S) was observed in different seeds structures (seed coat, cotyledons and embryonic axis) in common bean cultivars belonging to different business groups and centers of origin. In the third experiment, were estimated the genetic parameters related to levels Fe, Zn, Ca, Mg and P. The crosses between cultivars were performed: FT Nobre x IPR Gralha and Diamante Negro x IPR Chopim. In the experiment were seeded the genitors (P_1 and P_2), the generations F_1 , F_2 , RC_1 ($P_1 \times F_1$), RC_2 ($P_2 \times RC_2$), and the plants were harvested manually after maturity and in the seeds were quantified the levels Fe, Zn, Ca, Mg and P. The germoplasm bank including wild common beans, old varieties, lines and cultivars in use. Among the access can be observed a great genetic diversity for all nutrients found in grains. This fact can be verified by the large range of variation found for all nutrients in accessions tested. In the second experiment it was observed that the mineral composition may vary depending on the cultivar used and the seed structure (seed coat, embryonic axis and cotyledon) evaluated. As regards the way as the mineral are distributed in the seed was verified that the mineral K, P, Mg, Cu, Zn, B, Mn, Fe and S are in highest percentage in the seed cotyledon, except the mineral Ca that is predominantly in the seed coat. In the third experiment, in crosses evaluated was possible to verify the predominance of the genetic variance in relation to environmental variance. Regarding to the mineral level Fe, Zn, Ca, Mg and P, it is feasible to increase the levels of these minerals in grain with the use of conventional breeding methods, it was verified gains with the selection.

Keywords: Improvement of common beans. Grain quality. Nutricional quality. Minerals. Protein.

SUMÁRIO

	CAPÍTULO 1 Introdução geral	10
1	INTRODUÇÃO	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Estratégias visando à prevenção da deficiência de micronutrientes na população	14
2.1.1	Biofortificação agrônômica.....	15
2.1.2	Biofortificação por meio de melhoramento genético	16
2.2	Métodos para a avaliação de nutrientes	17
2.3	Causas da variação dos teores de micronutrientes nas plantas.....	18
2.3.1	Variabilidade genética e efeito da interação GxA para micronutrientes.....	20
2.3.2	Variação da distribuição de minerais nos diferentes tecidos das plantas.....	22
2.4	A relação entre o melhoramento de plantas visando à qualidade nutricional com a eficiência do uso de nutrientes pela planta	24
2.5	Melhoramento e controle genético para teores de minerais nos grãos	25
2.6	Parâmetros genéticos.....	27
2.6.1	Herdabilidade	28
2.6.2	Ganho de seleção.....	30
2.7	Feijão	31
2.7.1	Morfologia da semente de feijão.....	31
2.7.2	Diversidade genética do feijoeiro e centros de origem	33
2.7.3	Qualidade nutricional dos grãos de feijão	34
3	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	38
	REFERÊNCIAS	40

	CAPÍTULO 2 Potencial para melhoramento e variabilidade genética para composição mineral e teor de proteína de cultivares e linhagens de feijão	47
1	INTRODUÇÃO	50
2	MATERIAL E MÉTODOS	53
2.1	Material genético	53
2.2	Locais de avaliação	53
2.3	Condução dos experimentos	54
2.4	Análises laboratoriais	54
2.5	Análise estatística	55
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
4	CONCLUSÃO	73
	REFERÊNCIAS	75
	CAPÍTULO 3 Acúmulo de minerais no tegumento, cotilédone e eixo embrionário em cultivares de feijoeiro de diferentes centros de origem	78
2	MATERIAL E MÉTODOS	83
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	87
4	CONCLUSÃO	101
	REFERÊNCIAS	104
	ANEXO	107
	CAPÍTULO 4 Estimativas de parâmetros genéticos associados aos teores de Fe, Zn, Ca, Mg e P em grãos de feijão	114
1	INTRODUÇÃO	117
2	MATERIAL E MÉTODOS	120
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	123
3.1	Ferro	123
3.2	Zinco	128

3.3	Cálcio	132
3.4	Magnésio.....	136
3.5	Fósforo.....	137
4	CONCLUSÃO.....	139
	REFERÊNCIAS	141
	ANEXO.....	144

CAPÍTULO 1 Introdução geral

1 INTRODUÇÃO

Os programas de melhoramento genético do feijoeiro visam o desenvolvimento de cultivares com elevada produtividade de grãos, resistência a pragas, doenças e tolerância a estresses edafoclimáticos como, a ocorrência de déficit hídrico e altas temperaturas durante o período reprodutivo e solos com elevados teores de alumínio ou deficientes em nutrientes minerais. As características relacionadas com a qualidade tecnológica e nutricional dos grãos também são relevantes em um programa de melhoramento. A avaliação da qualidade tecnológica dos grãos compreende o tempo de cozimento, porcentagem de absorção de água dos grãos antes e após o cozimento, entre outros. Para a avaliação da qualidade nutricional é levado em consideração à composição química das sementes.

Levando em consideração os problemas de saúde pública relacionados com a má nutrição, ressalta-se a preocupação por parte dos melhoristas em obter novas cultivares que apresentem maiores conteúdos de vitaminas, minerais e fibras nos grãos. Essas cultivares serão um grande benefício social à população brasileira que tem o feijão como alimento básico, resultando na melhoria da qualidade de vida dos consumidores e também em vantagens mercadológicas aos produtores rurais.

Os grãos de feijão possuem alto valor nutricional por apresentar quantidades significativas de proteínas, carboidratos, fibras, minerais e vitaminas do complexo B (GUZMÁN-MALDONADO; ACOSTA-GALLEGOS; PAREDES-LÓPES, 2000; LAJOLO; GENOVESE; MENEZES, 1996) sendo a principal fonte de proteína para as populações economicamente menos favorecidas (MESQUITA et al., 2007).

A composição de minerais nos grãos pode ser alterada em função do genótipo, ambiente e da interação genótipos por ambientes (ARAÚJO et al.,

2003; BURATTO et al., 2009; RIBEIRO, 2010; SILVA, 2011). Portanto, observa-se variação nos teores de minerais em cultivares e linhagens avaliadas em diferentes locais, anos e épocas de semeadura. A existência da variabilidade genética tem sido verificada para as características que conferem a qualidade nutricional em grãos de feijão (ARAÚJO et al., 2003; BURATTO et al., 2009; SILVA, 2011), e esse fato torna possível a obtenção de linhagens promissoras, por meio de melhoramento genético.

Técnicas de marcadores moleculares constituem importantes ferramentas do melhoramento genético de plantas, e alguns trabalhos utilizaram-se dessas técnicas no estudo da qualidade nutricional dos grãos de feijão (BEEBE; GONZALEZ; RENGIFO, 2000; BLAIR et al., 2009, 2010a, 2012). Os estudos envolvendo *QTLs* (*Quantitative Trait Loci*) permitem a localização de genes candidatos para a acumulação de micronutriente e também proporcionará a seleção assistida por marcadores moleculares (SAM). O potencial para o desenvolvimento de marcadores moleculares esta estreitamente relacionada com o número de genes envolvidos no controle do caráter e a sua contribuição individual. Futuramente com o avanço do conhecimento de marcadores moleculares ligados aos locos que determinam variação para a qualidade nutricional, a SAM, poderá ser utilizada para selecionar genótipos favoráveis, sem a necessidade de realizar análises laboratoriais dos teores de minerais, que são muitas vezes complexas e oneram os programas de melhoramento.

Para obter êxito no melhoramento genético visando o incremento dos teores de minerais nos grãos, torna-se necessário o conhecimento do controle genético para essa característica. No entanto, na literatura algumas informações a respeito da herança do caráter são divergentes. No caso do teor de zinco em sementes de feijão, Cichy et al. (2005) verificaram uma herança monogênica com interação alélica do tipo dominante. Por outro lado, Blair et al. (2009) sugerem que a herança para os teores de zinco e ferro em sementes de feijão seja

quantitativa, devido ao grande número de *QTL* detectados em seis dos onze grupos de ligação do genoma do feijoeiro.

O desenvolvimento de cultivares melhoradas constitui uma estratégia sustentável e de baixo custo para atingir as populações com acesso limitado aos programas governamentais de saúde, uma vez que as sementes das cultivares com maior valor nutricional poderão ser distribuídas aos pequenos produtores. Uma boa dieta alimentar pode melhorar a qualidade de vida das pessoas e diminuir a ocorrência de doenças. Assim sendo, iniciativas que melhorem a qualidade nutricional dos alimentos, principalmente aqueles comuns à dieta alimentar, como o feijão, por exemplo, devem ser apoiadas, uma vez que a maioria da população carente não tem acesso aos produtos industrializados fortificados com minerais e vitaminas disponíveis no mercado.

Com a finalidade de orientar programas de melhoramento para qualidade nutricional dos grãos de feijão, este trabalho teve como objetivos: estudar a variabilidade genética para teores de minerais e proteína em acessos do banco de germoplasma de feijão do IAPAR; determinar a variabilidade genética para o acúmulo dos minerais K, P, Ca, Mg, Cu, Zn, B, Mn, Fe e S no tegumento, cotilédone e eixo embrionário em cultivares de feijão pertencentes a diferentes centros de origem; e estimar os parâmetros genéticos e o potencial de ganhos na seleção para os teores de Fe, Zn, Ca, Mg e P.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo foram abordados alguns aspectos relacionados ao melhoramento vegetal visando à qualidade nutricional dos grãos de feijão. Inicialmente, mencionam-se os distintos significados do termo “Biofortificação” utilizados na literatura e dos aspectos positivos que esta abordagem apresenta.

Dando prosseguimento à fundamentação teórica deste trabalho, seguem os tópicos que relatam os métodos para a avaliação dos teores de nutrientes e causas da variação dos teores de micronutrientes nas plantas.

Nos tópicos que seguem, foi comentada a relação entre a qualidade nutricional e a eficiência do uso de nutrientes pelas plantas; melhoramento e controle genético para os teores de minerais nos grãos; e também o último tópico em que foi comentada a origem e diversidade genética do feijoeiro, a morfologia da semente e a qualidade nutricional dos grãos de feijão.

2.1 Estratégias visando à prevenção da deficiência de micronutrientes na população

As deficiências de nutrientes minerais, como o Fe e Zn, afetam milhares de pessoas carentes em todo o mundo, principalmente em países em desenvolvimento. Diversas intervenções foram realizadas até o presente momento para diminuir os níveis de desnutrição na população mundial, mencionam-se a suplementação, fortificação e a diversificação da dieta. Os suplementos alimentares são destinados a complementar e fornecer nutrientes à dieta e são geralmente muito utilizados por atletas. Já a fortificação tem como princípio a adição de nutrientes nos alimentos, e constitui uma prática comumente adotada pela indústria de produtos alimentícios. Todavia, essas abordagens têm como entrave a sua restrita acessibilidade a populações carentes e os custos envolvidos na sua implantação (WHITE; BROADLEY, 2009).

Visando contornar esses obstáculos, uma alternativa sustentável para o fornecimento de nutrientes às populações carentes é a biofortificação.

A biofortificação refere-se ao aumento da concentração dos nutrientes nas partes comestíveis das plantas, e esse procedimento pode ser realizado por meio de fertilizantes minerais ou por técnicas de melhoramento genético. O incremento do teor de nutrientes por meio do uso de fertilizantes tem sido denominado de “Biofortificação Agronômica” (WELCH, 2008), e o incremento dos teores de nutrientes resultante de melhoramento genético é denominado somente de “Biofortificação” (NESTEL et al., 2006).

2.1.1 Biofortificação agronômica

Os teores de micronutrientes podem ser incrementados nas partes comestíveis dos produtos agrícolas por meio da adição de fertilizantes. Essa prática, denominada “Biofortificação Agronômica”, pode ser realizada por meio da adubação no solo ou via foliar (WELCH, 2008). Na China foi realizado um estudo sobre o efeito da adubação foliar de Zn, Se e Fe na cultura do arroz em que foi avaliado o conteúdo desses micronutrientes nos grãos. Em ótimas condições de cultivo, os teores de Zn, Se e Fe podem ser incrementados em até 36,7%, 194% e 37,1%, respectivamente (FANG et al., 2008).

Outras práticas de manejo como a rotação de culturas e o uso de biofertilizantes podem elevar o teor de micronutrientes. Zuo e Zhang (2009) relatam que os teores de minerais ferro e zinco nas sementes são maiores em cultivos consorciados de gramíneas com leguminosas em relação ao monocultivo. Em cultivo consorciado de grão de bico e trigo, o conteúdo de Fe nas sementes de trigo e grão de bico aumentou 1,26 e 1,21 vezes, respectivamente. A concentração de Zn na semente de grão de bico foi 2,82 vezes maior do que na monocultura.

2.1.2 Biofortificação por meio de melhoramento genético

Estima-se que aproximadamente um terço da população mundial sofre de deficiências de micronutrientes como ferro, zinco e vitamina A. A deficiência de ferro afeta mais de 3,5 bilhões de pessoas em países em desenvolvimento. A carência de vitamina A causa cegueira em mais de 500 mil crianças a cada ano, podendo inclusive levar a mortalidade infantil (DELLA PENNA, 1999).

É crescente o interesse no melhoramento vegetal para eficiência na utilização e acumulação de minerais, visando produtos mais nutritivos. Essa é uma alternativa de menor custo para atingir populações carentes que não tem acesso aos produtos resultantes das intervenções utilizadas até o momento contribuindo para a redução de sua má nutrição. A biofortificação genética alcança áreas rurais pobres, por meio de “cultivares biofortificadas”. O custo inicial do desenvolvimento de “cultivares biofortificadas” é alto, entretanto, depois de inseridas dentro do sistema de produção são cultivadas com as práticas de manejo já estabelecidas, substituindo as cultivares menos nutritivas.

Com relação à Biofortificação é interessante ressaltar alguns aspectos apontados por Nestel et al. (2006).

- a) As variedades nutricionalmente melhoradas continuarão a ser cultivadas e consumidas, ano após ano, mesmo se a atenção do governo e financiamento internacional para a questão de micronutrientes desaparecer.
- b) A biofortificação apresenta menor custo quando comparada aos tradicionais programas de suplementação e fortificação de alimentos.

Dois grandes programas internacionais apresentam atividades de pesquisa em Biofortificação: o “*Harvest Plus*” que conta como apoio da Fundação Bill e Melinda Gates, Banco Mundial e outras instituições; e o programa AgroSalud que conta com o apoio da Agência Canadense para o Desenvolvimento Internacional (CIDA) (MORAES et al., 2009).

No Brasil algumas instituições vêm desenvolvendo atividades de melhoramento voltadas à biofortificação do feijoeiro, tais como, a Embrapa Arroz e Feijão, inserida no Programa “*Harvest Plus*”, o Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR) com o projeto BIOFORTA financiado pelo Ministério de Desenvolvimento Social (MDS) e as Universidades Federais de Lavras (UFLA) e de Santa Maria (UFSM).

2.2 Métodos para a avaliação de nutrientes

Os nutrientes como a provitamina A, carotenoides, ferro e zinco estão presentes nos tecidos vegetais em baixas concentrações, e isso pode causar algumas dificuldades técnicas para efetuar a triagem do germoplasma disponível. Em um programa de melhoramento genético são requeridos métodos de avaliação que preferencialmente apresentem baixo custo, facilidade de execução e rapidez na obtenção de resultados, uma vez que são analisadas centenas de amostras por ano. Para a quantificação de carotenoides nos grãos pode ser usado *HPLC* (*High Performance Liquid Chromatography*), ou Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado conhecido por *ICP-OES* (*Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry*). Outro método de análise conhecido como *NIRS* (*Near Infrared Reflectance Spectroscopy*) tem sido estudado pelo Programa “*Harvest Plus*”, e essa metodologia apresenta como vantagem a rapidez na obtenção dos resultados

e caracteriza-se por ser de natureza não destrutiva (ORTIZ-MONASTÉRIO et al., 2007).

A determinação dos teores de ferro, zinco e outros minerais nos grãos em diferentes tecidos das plantas podem ser feita por meio de *ICP-OES*, *ICP-MS* (*Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*) ou *AAS* (*Atomic Absorption Spectroscopy*) (BLAIR et al., 2009; HIRSCHI, 2008; ORTIZ-MONASTÉRIO et al., 2007).

Blair et al. (2009) compararam dois métodos de análise para quantificar os teores de ferro e zinco em amostras de grãos de feijão. O objetivo foi validar uma metodologia que apresentasse menor custo em relação ao *ICP-OES*, e esse método foi comparado com o *AAS*. Ambos os métodos de análise foram considerados confiáveis e apresentaram resultados semelhantes. As estimativas de correlação entre os teores de ferro obtidos pelos métodos *ICP-OES* e *AAS* foi positiva e significativa ($r = 0,727$; $P < 0,01$); resultado semelhante foi verificado para zinco ($r = 0,828$; $P < 0,01$).

As amostras submetidas à análise de nutrientes estão sujeitas a contaminação, e detectá-la é complicado uma vez que na literatura não são encontradas referências disponíveis para auxiliar os pesquisadores. As fontes de contaminação das amostras podem ser poeira, solo e partes de metal ou pintura do equipamento usado para debulha, preparação da amostra ou tratamento da semente. Dessa forma, procedimentos que possam evitar fontes de contaminação na experimentação devem ser rotineiros (PFEIFFER; McCLAFFERTY, 2007b).

2.3 Causas da variação dos teores de micronutrientes nas plantas

A variação do teor de micronutrientes pode ser atribuída a diversos fatores, entre eles:

- a) características da planta como idade, maturação, espécie, variedade, cultivar. A variação dos teores de nutrientes pode ser atribuída à variabilidade genética presente dentro de cada espécie. A variabilidade genética é o pré-requisito indispensável para efetuar o melhoramento genético para a qualidade nutricional de uma dada espécie;
- b) características do meio ambiente em que os cultivos foram realizados. Entre esses fatores podem-se mencionar condições climáticas, tipo de solo, épocas de cultivo (RIBEIRO, 2010), fornecimento de nutrientes minerais para as plantas por meio de adubação (FANG et al., 2008), manejo e práticas culturais como o cultivo consorciado de gramíneas e leguminosas (ZUO; ZANG, 2009). As interações genótipos por ambientes influenciam os teores de minerais, pois, os genótipos apresentam respostas diferenciadas nos diversos locais de cultivo (BURATTO, 2005; REYNOLDS et al., 2005; SILVA, 2011);
- c) fatores de processamento do alimento, como exemplo o tempo de armazenamento, temperatura, método de preservação e preparação do alimento. No caso de grãos de feijão Ramirez-Cardenas, Leonel e Costa (2008) verificaram que diferentes tipos de processamento (cozimento com e sem maceração dos grãos) influenciam o teor de minerais. Em grãos de feijões processados ocorreu uma redução dos teores de alguns minerais (sódio, potássio, cálcio, magnésio, ferro e manganês) quando comparados aos feijões crus;
- d) desigual distribuição de micronutrientes entre os diferentes tecidos dentro de uma mesma planta. Por exemplo, na semente de cereais

alguns micronutrientes minerais estão concentrados na aleurona¹ (BEYER, 2010). Em sementes de feijão, o mineral ferro está distribuído desigualmente nos diferentes tecido da semente (CVITANICH et al., 2010).

2.3.1 Variabilidade genética e efeito da interação GxA para micronutrientes

A presença de variabilidade genética é essencial para os programas de melhoramento, pois determina a viabilidade de obter incremento no teor de micronutrientes nas cultivares por meio de métodos de melhoramento convencionais. Quando a variação genética está presente, os melhoristas de plantas podem explorar efeitos genéticos aditivos, segregação transgressiva e a heterose. Se não ocorre variação genética na espécie trabalhada, o uso de técnicas de transgenia se torna necessário para obter variabilidade (PFEIFFER; MCCLAFFERTY, 2007a).

Os programas de melhoramento contam com bancos de germoplasma, onde são armazenados os recursos genéticos de uma espécie. Os teores de minerais em grãos de feijão da coleção núcleo do banco de germoplasma do CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) foram avaliados e os resultados indicam a existência de variabilidade genética suficiente para melhorar em cerca de 80% o conteúdo de ferro e cerca de 50% de zinco (BEEBE; GONZALEZ; RENGIFO, 2000).

Métodos estatísticos multivariados têm sido utilizados para classificar acessos de feijoeiro de bancos de germoplasma permitindo selecionar aqueles que apresentam altos teores de minerais para serem utilizados em programas de melhoramento (PINHEIRO et al., 2010; SANTOS et al., 2010).

¹ Tecido de reserva, de natureza proteica, armazenada nas células do albume das sementes sob a forma de grânulos, e que se destina a alimentar o embrião em crescimento nas primeiras fases.

Não só fatores genéticos podem influenciar no teor de micronutrientes, mas fatores ambientais e as interações genótipos x ambientes (GxA) também podem influenciar na manifestação fenotípica do caráter. A expressão da característica teor de micronutrientes difere amplamente entre os diferentes ambientes. A alteração na composição química dos grãos de feijão pode ser esperada como resposta às condições edafoclimáticas nos locais de cultivo. Moraghan et al. (2002) verificaram que a acumulação de ferro na semente é 25% maior quando o cultivo foi realizado em solos ácidos (pH=6,0) em relação aos cultivos em solos alcalinos (pH=8,2). Araújo et al. (2003) verificaram efeitos significativos para interação GxA para teores de ferro em grãos de feijão de 25 cultivares avaliadas em três locais do Estado do Paraná. A influência da interação GxA para teor de proteína em grãos de feijão foi constatada por Buratto et al. (2009). As interações GxA indicam uma resposta diferencial dos genótipos às mudanças ambientais, portanto a presença dessas interações indica que o comportamento dos genótipos depende das condições ambientais a que são submetidos. A ocorrência da interação GxA influencia na tomada de decisão sobre o método de melhoramento a ser empregado, refletindo na estimativa da herdabilidade da característica e conseqüentemente no potencial de ganho genético.

A expressão do caráter teor de ferro e zinco é fortemente influenciada pela interação GxA, no entanto, no caso da Provitamina A há relatos que a sua expressão fenotípica na cultura é relativamente estável em diferentes condições de cultivo. Supõe-se que essa característica seja controlada por poucos genes, ao contrário da expressão do caráter teor de ferro e zinco que apresenta alta variação devido à interação GxA, caracterizando uma herança mais complexa (MENKIR; MAZIYA-DIXON, 2004; PFEIFFER; MCCLAFFERTY, 2007a).

2.3.2 Variação da distribuição de minerais nos diferentes tecidos das plantas

As plantas provêm à dieta humana, todos os macros e micronutrientes necessários para uma vida saudável, entretanto, os micronutrientes são distribuídos desigualmente não somente entre as distintas espécies, mas também em diferentes tecidos dentro da mesma planta. As folhas frequentemente contêm todos os micronutrientes necessários, enquanto que os tecidos de reserva, como grãos, raízes e tubérculos, apresentam pequena diversidade de compostos bioquímicos que frequentemente podem apresentar níveis insuficientes para as necessidades humanas (BEYER, 2010).

Minerais em arroz, trigo, milho e outros cereais estão concentrados na aleurona, e a concentração do mineral diminui acentuadamente em direção ao centro do grão, sendo muito mais baixa no endosperma. A camada contendo a aleurona é removida por polimento ou moagem; pequenas diferenças de polimento podem assim ter um efeito drástico sobre a concentração de micronutrientes. A investigação sobre como o grau de polimento ou trituração afeta a concentração de micronutrientes é de difícil mensuração, assim devem ser elaborados protocolos padronizados de triagem para validar e implementar projetos, visando atingir um nível de padronização que permitirá uma comparação dos dados (BEYER, 2010; PFEIFFER; MCCLAFFERTY, 2007a).

O maior teor de minerais na aleurona pode ter a seguinte explicação: sabe-se que a translocação dos minerais para os grãos se dá pelo floema para as partes reprodutivas das plantas. O movimento dos íons no floema é controlado pelo fluxo de massa criado pelo gradiente de concentração entre as raízes e outras partes da planta e os drenos reprodutivos. Assim, um aumento da demanda no dreno, devido ao desenvolvimento dos grãos, aumenta o fluxo de nutrientes e minerais do floema para os drenos. Múltiplas camadas de aleurona poderiam causar uma demanda maior do dreno em relação àqueles que possuem

apenas uma camada. Assim haveria um maior fluxo de minerais para esse tipo especial de grão, aumentando sua concentração de minerais (WELCH, 1993).

Cvitanich et al. (2010) mostraram que a distribuição de ferro entre o tegumento e o embrião varia entre os genótipos dentro da mesma espécie. Ariza-Nieto et al. (2007) têm mostrado que em feijão a porcentagem de ferro acumulado no embrião é dependente do genótipo, e o ferro presente no tegumento representa 4 a 26% do teor de ferro total da semente, dependendo do genótipo. No entanto, nas estimativas obtidas por Cvitanich et al. (2010) verificaram-se que 2 a 18% do teor de ferro da semente está presente no tegumento, e que o teor de ferro variou de 1 a 2% no eixo embrionário e 80 a 96% nos cotilédones. Estudo realizado por Moraghan et al. (2002) têm demonstrado que 5 a 40% do teor de ferro da semente de feijão pode ser encontrado no tegumento. As diferenças observadas entre os valores obtidos nos estudos realizados provavelmente é devido à diferença entre os genótipos avaliados. Outra possibilidade é que nos estudos de Moraghan et al. (2002) as sementes analisadas encontravam-se no estágio fenológico R7, uma vez que ferro pode ser mobilizado para o embrião durante o último estágio de maturação, alterando a proporção de ferro no tegumento entre a fase R7 e a maturidade.

As concentrações de ferro nos cotilédones variaram de 43 a 80 $\mu\text{g.g}^{-1}$, já no eixo embrionário observou-se variação de 46 a 103 $\mu\text{g.g}^{-1}$ e no tegumento da semente a amplitude de variação foi maior e verificaram-se valores oscilando de 17 a 132 $\mu\text{g.g}^{-1}$ dependendo do genótipo (CVITANICH et al., 2010).

2.4 A relação entre o melhoramento de plantas visando à qualidade nutricional com a eficiência do uso de nutrientes pela planta

A quantidade de minerais presentes nas sementes depende da absorção das raízes na rizosfera², o transporte pelo xilema, a transferência para as folhas e outros tecidos e finalmente o transporte desses minerais para as sementes. O melhoramento visando a biofortificação requer a melhoria de vários desses processos fisiológicos, e apesar do progresso no entendimento dos genes envolvidos na absorção e translocação dos micronutrientes, ainda há muitos questionamentos a serem elucidados. Um dos maiores desafios é o completo entendimento dessas etapas que envolvem a translocação de minerais até a semente (WATERS; SANKARAN, 2011).

Alelos responsáveis pela maior eficiência na absorção e translocação de nutrientes podem ser inseridos em culturas agrícolas de importância econômica e assim permitir o aumento da qualidade nutricional das partes comestíveis. Entretanto, o incremento do teor de nutrientes minerais nas porções comestíveis das plantas não somente necessita de um incremento mineral dentro da planta, mas também requer modificações no fracionamento de minerais dentro do vegetal (FROSSARD et al., 2000). A maior eficiência no uso de nutrientes pode ser alcançada por alguns mecanismos fisiológicos da planta, tais como: melhor geometria do sistema radicular; maiores taxas de absorção específica em baixas concentrações; modificações químicas na interface raiz/solo para solubilização do nutriente limitante (ASCHER-ELLIS et al., 2001).

Ferramentas de genética molecular têm possibilitado aos pesquisadores identificar algumas etapas-chave da regulação da aquisição de Fe pelas plantas. Um trabalho nesta linha de pesquisa foi efetuado por Blair et al. (2010b) determinando a variabilidade da atividade da enzima ferro redutase em

² Zona do solo que envolve o sistema radicular das plantas.

genótipos contrastantes para o teor de ferro nos grãos. A enzima ferro redutase é requerida para reduzir o íon F^{+3} à forma disponível para as plantas F^{+2} . Genótipos que acumulam altas concentrações de ferro na semente geralmente apresentaram maior atividade da enzima ferro redutase em condições de déficit de ferro e moderada atividade enzimática em condições sem déficit de ferro.

A eficiência na absorção e mobilização de minerais para os grãos podem ser limitados pela disponibilidade dos minerais no solo. Na identificação de germoplasma com alto teor de ferro e zinco nos grãos é necessário ser observado às condições em que o cultivo foi realizado. As culturas sob condições de campo com a aplicação de fertilizantes tendem a produzir grãos com maiores teores de minerais em relação àquelas sem o fornecimento de adubos. Similarmente, substratos especiais utilizados em estufas e casas de vegetação e soluções nutritivas utilizadas em hidroponia disponibilizam maior quantidade de nutrientes às plantas em relação à maioria dos solos (ORTIZ-MONASTERIO et al., 2007).

2.5 Melhoramento e controle genético para teores de minerais nos grãos

A variabilidade genética é essencial para o desenvolvimento de cultivares com maiores teores de minerais nos grãos. Alguns trabalhos na literatura têm reportado a presença de variabilidade genética dos teores de nutrientes nos grãos em diversas culturas agrícolas (NESTEL et al., 2006; PFEIFFER; MCCLAFFERTY, 2007a). Outros parâmetros que também devem ser considerados é a influência de fatores ambientais, o efeito de fatores antinutricionais presentes nos grãos e o efeito do processamento na disponibilidade do nutriente nos grãos (ORTIZ-MONASTERIO et al., 2007).

Confirmando a presença de variabilidade genética na população para o teor de nutrientes, o melhorista deve ter em mãos as informações a respeito da

herança do caráter. Quando a herança do caráter é controlada por um ou poucos genes pode ser utilizada como estratégia de melhoramento o uso de retrocruzamentos, descendência de uma única semente (*SSD*), ou o método genealógico.

As etapas de um programa de melhoramento genético visando o aumento do teor de nutrientes podem ser divididas em quatro etapas (ORTIZ-MONASTERIO et al., 2007):

- a) conhecimento da variabilidade genética disponível;
- b) introgressão dos alelos favoráveis em genótipos com tolerância a estresses bióticos e abióticos e alto desempenho produtivo;
- c) testes de estabilidade para os teores de nutrientes nos ambientes em que serão cultivados e;
- d) disponibilização das sementes das ‘cultivares melhoradas’ para os agricultores.

No trabalho realizado por Cichy et al. (2005) foi feito o cruzamento entre as cultivares de origem mesoamericanas *Albion* (baixo zinco) e *Voyager* (alto zinco). Os autores verificaram uma herança monogênica com interação alélica do tipo dominante para o teor de zinco em sementes de feijão. Entretanto, no estudo de herança feito por Blair et al. (2009) em linhagens endogâmicas em gerações avançadas ($F_{7:11}$) obtidas a partir de híbridos oriundo de acessos andinos e mesoamericanos verificou-se que o teor de zinco na população apresentou distribuição contínua, sugerindo uma herança quantitativa.

O teor de ferro em grãos de feijão apresenta herança quantitativa, e uma evidência desse fato é que um grande número de *QTLs* (*Quantitative Trait Loci*) foi detectado em seis dos onze grupos de ligação do genoma do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) (BLAIR et al., 2009). Os fitatos apresentam

propriedades antinutricionais devido à quelação de minerais como o ferro e zinco, diminuindo a sua biodisponibilidade. Contudo, os fitatos são uma forma de armazenamento do fósforo orgânico que por sua vez é usado pela planta em várias fases do seu desenvolvimento. Blair et al. (2012) avaliaram *QTLs* associados ao teor de fósforo e fitatos em sementes de feijão e foram identificados *QTLs* para concentração de fitato no grupo de ligação b06 e conteúdo de fitato no grupo b03, b04 e b10. Cichy et al. (2009) identificaram *QTLs* para fósforo em sementes em seis grupos de ligação e explicaram 17 a 55% da variação fenotípica dependendo do ano e do ambiente. Estudos envolvendo *QTLs* permitem a localização de genes candidatos para a acumulação de micronutrientes, e podem abrir caminho para a seleção assistida por marcadores e obtenção de novas cultivares com grãos com tipo comercial aceitável pelos consumidores e altos teores de micronutrientes.

2.6 Parâmetros genéticos

Muitos caracteres agronômicos de interesse econômico apresentam herança complexa, sendo controlados por um grande número de genes, e esses caracteres apresentam distribuição contínua, sofrendo grande influência do ambiente. As estimativas dos parâmetros de herdabilidade, correlações genéticas e fenotípicas e ganho esperado de seleção permitem a obtenção de informações a respeito da natureza da ação dos genes envolvidos na herança dos caracteres; escolha do esquema mais adequado de seleção a ser adotado; informações a respeito de quais características deverão ser selecionadas em gerações precoces ou avançadas e; estimativas dos progressos esperados com a seleção (VENCOVSKY, 1969). A inferência sobre o controle genético dos caracteres quantitativos pode ser obtida utilizando os componentes de médias (estatística de

primeira ordem) ou os componentes de variâncias (RAMALHO; SANTOS; ZIMMERMANN, 1993).

As estimativas de componentes de variância fornecem subsídios na tomada de decisão durante o planejamento e execução de um programa de melhoramento. Os componentes de variância são utilizados para obter as estimativas dos coeficientes de herdabilidade, ganho esperado com a seleção e correlação entre caracteres (RAMALHO; SANTOS; ZIMMERMANN, 1993). As estimativas de componentes de variância auxiliam também na escolha da população base e do método de seleção a ser utilizado, e na avaliação para definir a viabilidade da continuação de um programa em andamento (VENCOVSKY, 1987).

2.6.1 Herdabilidade

A herdabilidade pode ser representada pelo símbolo ' h^2 ', a sua estimativa foi feita primeiramente por J. L. Lush, estudando a relação existente entre o comportamento de um dado animal e seus descendentes (BREWBAKER, 1969). A herdabilidade é uma medida em que é observada a proporção da variação fenotípica que é devida a fatores genéticos. Podem ser

feitas mensurações para a herdabilidade no sentido amplo $\left(h_a^2 = \sigma_G^2 / \sigma_F^2\right)$ e a

herdabilidade no sentido restrito $\left(h_r^2 = \sigma_A^2 / \sigma_F^2\right)$.

Uma estimativa de h_a^2 próxima de 1.0 indica que as condições ambientais tiveram pequena influência nas diferenças fenotípicas observadas na população, e uma estimativa próxima de 0.0 indica que o ambiente responde por grande parte das diferenças observadas. Na estimativa de h_a^2 é considerada a

soma da variância genética aditiva (σ_A^2), dominante (σ_D^2) e epistática (σ_E^2). As estimativas de h_a^2 são menos acuradas que as estimativas de h_r^2 para o potencial de seleção para as características quantitativas, porque levam em consideração não apenas a variância genética aditiva, mas também todas as formas de variância genética, ao contrário da h_r^2 que leva apenas em consideração a variância genética aditiva (σ_A^2). As estimativas de h_r^2 são úteis para prever os fenótipos da descendência durante o processo de seleção; se a h_r^2 é próximo de 1, há uma grande chance de se fazer uma predição acurada do fenótipo da descendência, baseado no conhecimento dos fenótipos dos parentais. Cichy et al. (2005) salientam que quando são obtidos valores altos para as estimativas de herdabilidade em sentido amplo e restrito é possível efetuar a seleção em gerações precoces, podendo iniciar em F_2 e usar como estratégia de melhoramento os métodos *pedigree*, *SSD* (*Single Seed Descent*) ou retrocruzamento.

No trabalho de Jost et al. (2009) a partir do cruzamento das cultivares de feijão Minuano e Diamante Negro foram obtidas as estimativas de herdabilidade no sentido amplo de 76,36% e de herdabilidade no sentido restrito de 50,60%, e um ganho de seleção de 11,14% para teor de ferro nos grãos de feijão.

Rosa et al. (2010) estudaram o teor de zinco em duas populações e as estimativas de herdabilidade no sentido amplo (h_a^2) foram de 54,28% e 74,46% e as estimativas de h_r^2 foram de 57,46% e 77,84%. No trabalho de Cichy et al. (2005) obtiveram estimativa de herdabilidade no sentido amplo e restrito de 84% e 82%, respectivamente. Os altos valores para h_r^2 indicam que a variância genética aditiva é o maior componente da variância genética.

É importante salientar que a herdabilidade não é um valor constante, mas uma propriedade de um caráter, da população e das circunstâncias de ambientes nos quais os indivíduos foram avaliados. Normalmente a herdabilidade é estimada a partir de uma análise de variância, sendo possível a

ocorrência de erros associados às estimativas de herdabilidade e outros componentes de variância genética. As estimativas dos componentes de variância e da herdabilidade somente se aplicam a população que lhes deu origem e as condições ambientais que influenciaram a população, portanto experimentos com a finalidade de obtenção de estimativas de herdabilidade devem ser conduzidos em um ambiente semelhante aos quais as estimativas serão aplicadas (FALCONER, 1981).

2.6.2 Ganho de seleção

O progresso genético é definido como sendo a diferença entre a média da população onde se fez a seleção e a média dos descendentes dos indivíduos selecionados. O ganho de seleção em uma dada população depende das propriedades genéticas de uma população. Quanto maior a heterogeneidade presente na população, maiores são as chances de ganho com a seleção, pois tal ganho se baseia em diferenças genéticas. O ganho de seleção relaciona-se diretamente com o diferencial de seleção ($ds = \bar{X}_s - \bar{X}_p$), que por sua vez é a diferença entre a média do grupo selecionado e a média da população original. Sendo assim, já que os caracteres quantitativos apresentam distribuição normal, um maior diferencial de seleção é obtido quando é selecionada uma menor proporção de unidades superiores (famílias, linhagens ou plantas individuais), portanto quanto maior a pressão de seleção maior será o diferencial de seleção e conseqüentemente, o progresso genético. Porém, uma alta pressão de seleção pode implicar na drástica redução da variabilidade genética. As condições ambientais em que o experimento é submetido é outro fator que interfere no ganho de seleção, pois o ambiente influencia nas estimativas dos coeficientes de herdabilidade (PATERNIANI; MIRANDA FILHO, 1987; VENCOVSKY, 1987).

2.7 Feijão

O Brasil é o maior produtor mundial de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivando uma área de 3.910,8 10³ hectares e uma produção de 3.668,8 10³ toneladas (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2012).

O maior produtor nacional de feijão é o Estado do Paraná, com 22% da produção, seguido pelos Estados de Minas Gerais, São Paulo, Bahia e Goiás (CONAB, 2012). No Brasil o feijão é plantado em três safras: na “safra das águas” ocorre alto índice de chuvas no plantio e colheita, na região Centro-Sul a semeadura ocorre de agosto a dezembro e no Nordeste de outubro a fevereiro. A segunda safra é conhecida por “safra da seca” e a semeadura ocorre de dezembro a março. E a terceira safra, a “safra de outono-inverno” o plantio é feito de abril a junho na região Centro-Sul (BRASIL, 2012).

2.7.1 Morfologia da semente de feijão

A semente de feijão apresenta em sua estrutura externa o tegumento, e internamente pode ser observado o embrião, que é composto pelos cotilédones e pelo eixo embrionário (DEBOUCK; HIDALGO, 1986; SATHE; VENKATACHALAM, 2004). Na estrutura externa da semente encontram-se: tegumento, também conhecido como testa ou casca; hilo, a cicatriz do tegumento; micrópila, cuja principal função é a absorção de água; rafe, originária a partir da junção do funículo com o tegumento externo do óvulo. A parte interna da semente compreende o embrião, que é composto de dois cotilédones e pelo eixo embrionário que é composto pela plúmula (gema apical e as duas folhas primárias), epicótilo, hipocótilo e a radícula (DEBOUCK;

HIDALGO, 1986). A estrutura externa e os componentes internos da semente de feijão podem ser observados com mais detalhes na Figura 1.

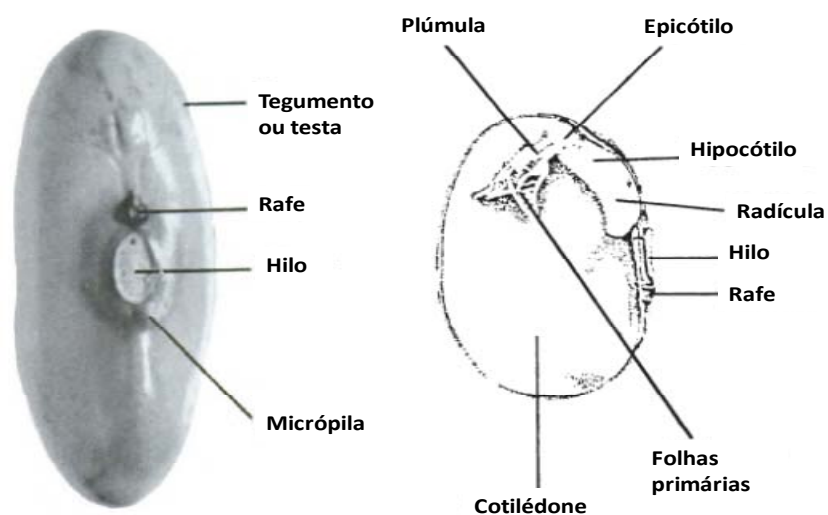


Figura 1 Estrutura externa (à esquerda) e componentes internos (à direita) da semente de feijão

Fonte: Debouck e Hidalgo (1986)

A maioria das sementes das leguminosas apresenta estrutura semelhante, e quando maduras apresentam três principais constituintes: o tegumento, os cotilédones e o eixo embrionário. Com relação ao peso seco da semente madura das leguminosas o cotilédone constitui 80 a 90% do peso seco da semente, o tegumento pode representar de 8 a 20% e o eixo embrionário de 1 a 2% (SATHE; VENKATACHALAM, 2004). Na semente de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) os cotilédones representam em média 90% do peso seco total, o tegumento 9% e o eixo embrionário 1% (DEBOUCK; HIDALGO, 1986).

O tegumento constitui a estrutura de proteção externa das sementes. Entre suas diversas funções estão: a preservação da integridade da semente, proteção do embrião contra injúrias mecânicas e aos danos provocados por pragas e patógenos, regulação das trocas gasosas entre o embrião e o ambiente

externo (SOUZA; MARCOS FILHO, 2001). Em sementes de feijão o tegumento se forma a partir da diferenciação do integumento do óvulo que circunda o saco embrionário. Portanto, genes expressos no tegumento apresentam herança materna (SCHUURMANS et al., 2003). A herança materna é quando o genótipo da planta usada como genitor feminino exerce influência no fenótipo dos seus descendentes. Quando é verificada a presença do efeito materno, deve-se ter em mente que o tegumento da semente é a expressão fenotípica do genótipo do genitor feminino e que o embrião da semente é resultado da fecundação (RAMALHO; SANTOS; PINTO, 2000). Portanto, no estudo de caracteres cujo efeito materno foi constatado o genótipo da F_1 se expressará em F_2 .

2.7.2 Diversidade genética do feijoeiro e centros de origem

O número exato de espécies de *Phaseolus* é desconhecido, porém relata-se que esse número pode variar de 31 a 52 espécies, todas originárias do Continente Americano, sendo que apenas cinco são cultivadas: *P. vulgaris* L., *P. acutifolius* A. Gray, *P. lunatus* L., *P. coccineus* L. e *P. polyanthus* Greeman (DEBOUCK, 1991). E entre as espécies mais cultivadas, o feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) se destaca pela sua importância na alimentação humana, sendo consumida principalmente na África e América Latina (BROUGHON et al., 2003).

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) pertence à família *Fabaceae* (*Leguminosae*, *Papilionoidae*) e gênero *Phaseolus*, esta espécie é diploide com $2n = 22$ e predominantemente autógama. Segundo estudo realizado por Bitocchi et al. (2012) é apontado que o feijão comum tem origem mesoamericana.

Achados arqueológicos de amostras de *P. vulgaris* L. com mais de 5.000 anos antes de Cristo foram encontrados no México e na América do Sul, e devido ao interesse do homem nesta leguminosa, a seleção foi feita desde o período Pré-Colombiano dando origens a uma grande variabilidade de formas e conseqüentemente, muitas denominações para essa espécie. Tais como Frijol, Poroto, Alubia, Judia, Frixol, Nuña, Habichuela, Vainita, Caraota e Feijão como é popularmente conhecido no Brasil (DEBOUCK; HIDALGO, 1986).

A origem do feijão comum no Brasil é comentada por Freitas (2006), em que foram analisadas geneticamente amostras modernas do CIAT e arqueológicas oriundas do Norte de Minas Gerais. Os resultados evidenciam que as amostras encontradas no Brasil tenham origem nas variedades de feijão encontradas no Norte da América do Sul e México.

No estudo feito por Singh, Gepts e Debouck (1991) nas variações nas características morfológicas, ciclo, tipo de vagem e semente foram estabelecidos padrões de distribuição que levaram à descrição de 12 conjuntos (“pools”) gênicos presentes nos germoplasmas de origem andina e mesoamericana. Os membros de cada conjunto gênico possuem certas características morfológicas, agrônômicas, fisiológicas, bioquímicas e moleculares distintas. Os genótipos de origem mesoamericana encontraram-se distribuídos dentro dos conjuntos gênicos de 1 a 6, os quais foram então agrupados em três raças distintas: Mesoamérica (conjuntos gênicos 1, 2, 3, e 4); Durango (conjunto gênico 5) e Jalisco (conjunto gênico 6). Os de origem andina distribuíram-se entre os conjuntos gênicos 7 a 12, que foram agrupados dentro das raças Nova Granada (conjuntos gênicos 7, 8 e 9), Chile (conjunto gênico 10) e Peru (conjuntos gênicos 11 e 12), o conjunto 5 da raça Durango e o 7, da raça Nova Granada.

2.7.3 Qualidade nutricional dos grãos de feijão

Os legumes, de forma geral, possuem um importante papel na dieta tradicional de muitas pessoas ao redor do mundo. Há evidências de que as leguminosas reduzem o risco de doenças cardiovasculares, diabetes e obesidade e até alguns tipos de câncer (DÍAZ-BATALLA et al., 2006).

O feijão está presente na dieta de grande parte da população e o consumo dos grãos dessa leguminosa proporciona benefícios à saúde, pois é considerado um alimento integral, que apresenta diferentes nutrientes essenciais para a saúde humana. No Quadro 1 é representada a amplitude de variação de alguns componentes da semente de feijão, nessa tabela pode ser observado que o teor de proteínas varia de 16 a 36,28%, carboidratos de 66,3 a 76,79%; teor de lipídeos de 0,66 a 1,43%; e cinzas de 3,36 a 5,44%.

Os grãos de feijão são ricos em proteínas, porém o seu valor biológico é baixo quando consumido isoladamente. As proteínas de suas sementes são ricas em lisina e limitadas em aminoácidos sulfurados. Portanto, a dieta de arroz com feijão, típica dos brasileiros, é balanceada em termos de aminoácidos essenciais.

O teor de proteína nos grãos varia de acordo com a cultivar, ambiente em que é realizado o cultivo e a interação genótipos com ambientes (BURATTO et al., 2009).

As fibras encontram-se presentes nos grãos de feijão, e a fração solúvel da fibra tem sido responsável pela redução dos níveis de colesterol e de açúcar no sangue e as fibras insolúveis aceleram o tempo de trânsito intestinal, auxiliando na prevenção de doenças do trato gastrointestinal (BASSINELLO, 2010). Foi encontrada variação de 8,04 a 11,11% para fibra solúvel, e 24,82 a 31,35% para fibra insolúvel em grãos de feijão preto (LONDERO et al., 2006).

O feijão é uma importante fonte de minerais na dieta humana. Os minerais desempenham importantes papéis no funcionamento do organismo: transporte de oxigênio, metabolismo energético, balanço hídrico e atividade enzimática e estrutural.

No Brasil, o maior problema é a deficiência de ferro (CUZZOLINO, 2007). A anemia ferropriva pode ser definida como a diminuição anormal na concentração da hemoglobina no sangue (FISBERG et al., 2003). O consumo de feijão mostra-se eficaz na prevenção da anemia ferropriva, auxiliando na recuperação de crianças com baixo peso e prevenindo a evolução negativa dos índices de risco nutricional em crianças, quando oferecido na alimentação escolar, em creches e em programas de distribuição do produto para consumo nas residências (ALMEIDA, 2010).

Quadro 1 Variação da composição química das sementes de feijão comum

Nutriente	Conteúdo	Autor
Proteína (%)	16 - 36,28	Barampama e Simard (1993), Buratto et al. (2009), Guzmán Maldonado e Parede-López (1998), Mesquita et al. (2007), Pinheiro et al. (2010) e Silva et al. (2010)
Carboidratos (%)	66,39 - 76,79	Barampama e Simard (1993) e Pires et al. (2005)
Lipídeos (%)	0,66 - 1,43	Barampama e Simard (1993) e Pires et al. (2005)
Cinzas (%)	3,36 - 5,44	Barampama e Simard (1993) e Pires et al. (2005)
B (mg.kg ⁻¹)	5,44 - 12,29	Ribeiro et al. (2008)
Ca (g.kg ⁻¹)	0,058 - 3,1	Akond et al. (2011), Barampama e Simard (1993), Islam et al. (2002), Mesquita et al. (2007), Pinheiro et al. (2010) e Pires et al. (2005)
Cu (mg.kg ⁻¹)	4,7 - 27,4	Barampama e Simard (1993), Mesquita et al. (2007), Pinheiro et al. (2010), Pires et al. (2005), Ribeiro et al. (2008) e Silva et al. (2010)
Fe (mg.kg ⁻¹)	8,9 - 161,50	Akond et al. (2011), Barampama e Simard (1993), Beebe, Gonzalez e Rengifo (2000), Islam et al. (2002), Mesquita et al. (2007), Pinheiro et al. (2010), Pires et al. (2005) e Silva et al. (2010)
K (g.kg ⁻¹)	4,42 - 24,8	Barampama e Simard (1993), Mesquita et al. (2007), Pinheiro et al. (2010), Pires et al. (2005) e Silva et al. (2010)
Mg (g.kg ⁻¹)	0,006 - 3,4	Akond et al. (2011), Barampama e Simard (1993), Mesquita et al. (2007), Pinheiro et al. (2010), Pires et al. (2005) e Silva et al. (2010)
Mn (mg.kg ⁻¹)	8,0 - 36,78	Mesquita et al. (2007), Pinheiro et al. (2010), Pires et al. (2005) e Silva et al. (2010)
P (g.kg ⁻¹)	2,2 - 7,97	Barampama e Simard (1993), Islam et al. (2002),

		Mesquita et al. (2007), Pinheiro et al. (2010) e Silva et al. (2010)
--	--	--

“continua”

Quadro 1 “conclusão”

Nutriente	Conteúdo	Autor
S (g.kg ⁻¹)	1,5 - 4,5	Islam et al. (2002) e Mesquita et al. (2007)
Zn (mg.kg ⁻¹)	11,5 - 69,9	Akond et al. (2011), Barampama e Simard (1993), Beebe, Gonzalez e Rengifo (2000), Islam et al. (2002), Mesquita et al. (2007), Pinheiro et al. (2010), Pires et al. (2005), Ribeiro et al. (2008) e Silva et al. (2010)

Para o teor de ferro em grãos de feijão pode ser observada ampla variabilidade em feijoeiros cultivados e silvestres. No Quadro 1, podem ser observadas as variações dos teores de ferro e zinco nos grãos, mencionados em diversos trabalhos na literatura.

No trabalho realizado por Blair et al. (2010) verificaram-se que a acumulação de ferro e zinco na semente é controlada por alguns genes em comum para ambos os minerais avaliados na população analisada. Welch et al. (2000) constataram correlações positivas e significativas entre teores de ferro e zinco em grãos de feijão. Isso possibilita o melhoramento concomitante para as duas características.

3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

As deficiências de nutrientes minerais afetam milhares de pessoas em todo o mundo, e estratégias como a suplementação e fortificação apresentam altos custos, e uma alternativa sustentável é a ‘Biofortificação’ que consiste no melhoramento genético visando o incremento no teor de nutrientes nos grãos. Nesse sentido, o melhoramento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) visando à obtenção de cultivares com alto valor nutricional proporcionará melhoria na saúde da população brasileira, visto a importância econômica e social dessa cultura no Brasil.

Verificou-se a existência de variabilidade genética para o teor de minerais (ferro, zinco, cálcio, fósforo, cobre, potássio, entre outros) nos grãos de feijão, o qual é o pré-requisito fundamental para efetuar o melhoramento. Foi observado que o fator ambiental, isto é, a localização geográfica e as condições de desenvolvimento e em que a planta foi submetida influenciam esta característica. A influência do ambiente é esperada, pois o Brasil tem dimensões continentais que apresenta as mais variadas condições edafoclimáticas e a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) no país é estabelecida em três safras agrícolas (águas, seca e outono-inverno) durante o ano nas mais variadas condições de manejo.

O efeito significativo da interação genótipos x ambientes (GxA) também pode ser constatado na literatura para teor de minerais em grãos de feijão. As cultivares e linhagens de feijão apresentam resposta diferenciada aos ambientes de cultivo, a significância da interação GxA deve ser vista com cautela por parte do melhorista, pois a identificação de uma determinada cultivar que apresente alto teor de mineral em um dado ambiente não significa necessariamente que essa mesma cultivar repita esse desempenho em outro local de cultivo.

A estimação dos parâmetros genéticos proporciona informações úteis aos melhoristas por fornecer subsídios para a condução de programas de melhoramento, obter informações a respeito da herança dos caracteres quantitativos; a escolha do esquema mais adequado de seleção a ser adotado; e estimativas com os ganhos de seleção.

Visto a existência da variabilidade nos teores de minerais nas sementes, verifica-se que as diferentes frações da semente (tegumento, eixo embrionário e cotilédone) apresentam composição química distinta. Esse fato apresentado tem implicação direta em um programa de melhoramento, pois se um dado nutriente mineral é observado em maior proporção no tegumento isso pode indicar a presença de efeito materno. Outra implicação da composição mineral diferenciada entre as frações da semente do ponto de vista agrônômico é a possibilidade de identificação daquelas linhagens que apresentam maiores conteúdos de nutrientes minerais no cotilédone da semente e conseqüentemente poderá selecionar concomitantemente aquelas cultivares com melhor desenvolvimento inicial, haja vista que o cotilédone constitui a reserva de nutrientes da semente que é disponibilizado a plântula nos estádios iniciais de desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

AKOND, A. S. et al. Minerals (Zn, Fe, Ca and Mg) and antinutrient (phytic acid) constituents in common beans. **American Journal of Food Technology**, New York, v. 6, n. 3, p. 235-243, 2011.

ALMEIDA, M. A. **Feijão enriquecido com ferro, vitaminas e minerais no combate a desnutrição infantil e prevenção de anemia ferropriva**. Disponível em: <<http://www.cnfap.embrapa.br/conafe/pdf/palestra03.pdf>>. Acesso em: 24 mar. 2010.

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

ARIZA-NIETO, M. et al. Screening of iron bioavailability patterns in eight bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes using the Caco-2 cell in vitro model. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 55, n. 19, p. 7950-7956, 2007.

ASCHER-ELLIS, J. S. et al. Micronutrients. In: REYNOLDS, M. P. et al. (Ed.). **Application of Physiology in wheat breeding**. Mexico: CIMMYT, 2001. p. 219-240.

BARAMPAMA, Z.; SIMARD, R. E. Nutrient composition, protein quality and antinutritional factors of some varieties of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) grown in Brurundi. **Food Chemistry**, London, v. 47, n. 2, p. 15-67, 1993.

BASSINELLO, P. P. **Qualidade dos grãos**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia4/AG01/arvore/AG01_2_28102004161635.html>. Acesso em: 20 out. 2010.

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

BEYER, P. Golden rice and 'Golden' crops for human nutrition. **New Biotechnology**, Oxford, v. 27, n. 5, p. 478-481, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871678410004450>>. Acesso em: 10 set 2011.

BITOCCHI, E. et al. **Mesoamerican origin of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is revealed by sequence data**. 2012. Disponível em: <<http://www.pnas.org/content/early/2012/02/27/1108973109>>. Acesso em: 28 maio 2012.

BLAIR, M. W. et al. Genetic diversity, Inter-gene pool introgression and nutritional quality of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) from Central Africa. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 121, n. 2, p. 237-248, 2010a.

BLAIR, M. W. et al. Inheritance of seed iron and zinc concentrations in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Molecular Breeding**, Dordrecht, v. 23, n. 2, p. 197-207, 2009.

BLAIR, M. W. et al. Inheritance of seed phytate and phosphorus levels in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and association with newly-mapped candidate genes. **Molecular Breeding**, Dordrecht, p. 1-13, 2012. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/046331642684g026/fulltext.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2012.

BLAIR, M. W. et al. QTL for seed iron and zinc concentration and content in a mesoamerican common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) population. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 121, n. 6, p.1059-1070, 2010.

BLAIR, M. W. et al. Variation and inheritance of iron reductase activity in the roots of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and association with seed iron accumulation QTL. **BMC Plant Biology**, London, v. 10, n. 1, p. 215-226, 2010b.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Perfil do feijão no Brasil**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/feijao/saiba-mais>>. Acesso em: 28 maio 2012.

BREWBAKER, J. L. **Genética na agricultura**. São Paulo: Polígono, 1969.

BURATTO, J. S. **Estudo da interação genótipo por ambiente no rendimento e qualidade nutricional de grãos de feijão precoce**. 2005. 52 p. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2005.

BURATTO, J. S. et al. Variabilidade genética e efeito do ambiente para teor de proteína em grãos de feijão. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 4, p. 593-597, 2009.

CICHY, K. A. et al. Inheritance of seed zinc accumulation in navy bean. **Crop Science**, Madison, v. 45, n. 3, p.864-870, 2005.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Feijão total - Séries históricas**: banco de dados. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=&Pagina_objcmsconteudos=2#A_bjcmsconteudos>. Acesso em: 15 mar. 2012.

CUZZOLINO, S. M. F. Deficiências minerais. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 21, n. 60, p. 119-126, 2007.

CVITANICH, C. et al. Iron and ferritin accumulates in separate cellular locations in Phaseolus seeds. **Plant Biology**, Stuttgart, v. 10, n. 26, p. 1-14, 2010.

DEBOUCK, D. G.; HIDALGO, R. **Morfology of the common bean plant**. Cali: CIAT, 1986. 56 p.

DEBOUCK, D. G. Systematics and morphology. In: SCHOONHOVEN, A.; VOYSEST, V. O. **Common beans**: research for crop improvement. Cali: CIAT, 1991. p. 55- 118.

DELLA PENNA, D. Nutritional genomics: manipulating plant micronutrients to improve human health. **Science**, Washington, v. 285, n. 5426, p. 375-379, 1999.

DÍAZ-BATALLA, L. et al. Chemical components with health implications in wild and cultivated Mexican common bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Washington, v. 54, n. 6, p. 2045-2052, 2006.

FALCONER, D. S. **Introdução á genética quantitativa**. Viçosa, MG: UFV, 1981. 279 p.

FANG, Y. et al. Effect of foliar applications of zinc, selenium, and iron fertilizers on nutrients concentration and yield of rice grain in China. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 56, n. 6, p. 2079-2084, 2008.

FISBERG, M. et al. Feijão enriquecido com ferro na prevenção da anemia em pré-escolas. **Nutrição em Pauta**, São Paulo, v. 59, p. 10-18, 2003.

FREITAS, F. O. Evidências genético-arqueológicas sobre a origem do feijão comum no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 7, p. 1199-1203, 2006.

FROSSARD, E. et al. Potential for increasing the content and bioavailability of Fe, Zn and Ca in plants for human nutrition. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 80, n. 7, p. 861-879, 2000.

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**, London, v. 80, n. 13, p. 1874-1881, 2000.

GUZMAN-MALDONADO, S. H.; PAREDE-LOPEZ, O. Functional products of plants indigenous to Latin America: amaranth, quinoa, common beans and botanicals. In: MAZZA, G. (ed.) **Functional foods: biochemical e processing aspects**. New York: Chapman and Hall, 1998. p. 293-328.

HIRSCHI, K. Nutritional improvement in plants: time to bite on biofortified foods. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 13, n. 9, p. 459-463, 2008.

ISLAM, F. M. A. et al. Seed compositional and disease resistance differences among gene pools in cultivated common bean. **Genetic Resources and Crop Evolution**, Dordrecht, v. 49, n. 3, p. 285-293, 2002.

JOST, E. et al. Potencial do aumento do teor de ferro em grãos de feijão por melhoramento genético. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 1, p. 35-42, 2009.

LAJOLO, F. M.; GENOVESE, M. I.; MENEZES, E. W. Qualidade nutricional. In: ARAÚJO, R. S. et al. (Coord.). **Cultura do feijoeiro no Brasil**. Piracicaba: Potafós, 1996. p. 71-99.

LONDERO, P. M. G. et al. Herdabilidade dos teores de fibra alimentar e rendimento de grãos em populações de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 1, p. 51-58, 2006.

MENKIR, A. B.; MAZIYA-DIXON, B. Influence of genotype and environment on β -carotene content of tropical yellow-endosperm maize genotypes. **Maydica**, Bergamo, v. 49, n. 4, p. 313-318, 2004.

- MESQUITA, F. R. et al. Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): composição química e digestibilidade protéica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1114-1121, 2007.
- MORAES, M. F. et al. Práticas agronômicas para aumentar o fornecimento de nutrientes e vitaminas nos produtos agrícolas alimentares. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL, 1., 2009, Viçosa. **Anais...** Viçosa, MG: UFV, 2009. p. 299-312.
- MORAGHAN, J. T. et al. Iron accumulation in seed of common bean. **Plant and soil**, The Hague, v. 246, n. 2, p.175-183, 2002.
- NESTEL, P. et al. Biofortification of staple food crops. **Journal of Nutrition**, Philadelphia, v. 136, n. 4, p.1064-1067, 2006.
- ORTIZ-MONASTERIO, J. I. et al. Enhancing the mineral and vitamin content of wheat and maize through plant breeding. **Journal of Cereal Science**, London, v. 46, n. 3, p. 293-307, 2007.
- PATERNIANI, E.; MIRANDA FILHO, J. B. Melhoramento de populações. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. P. (Coord.). **Melhoramento e produção de milho no Brasil**. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 217 – 265.
- PINHEIRO, C. et al. Diversity of seed mineral composition of *Phaseolus vulgaris* L. germplasm. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 23, p. 319-325, 2010.
- PIRES, C. V. et al. Composição físico-química de diferentes cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Alimentação e Nutrição**, São Paulo, v. 16, n. 2, p. 157-162, 2005.
- PFEIFFER, W. H.; McCLAFFERTY, B. Biofortification: breeding micronutrient-dense crops. In: KANG, M. S.; PRIYADARSHAN, P. M. (Ed.). **Breeding major food staples**. Ames: Blackwell, 2007b. p. 61-91.
- PFEIFFER, W. H.; McCLAFFERTY, B. Harvest plus: breeding crops for better nutrition. **Crop Science**, Madison, v. 47, n. 2, p. 88-105, 2007a. Suppl.
- 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. O. **Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro**. Goiânia: UFG, 1993. 271p.

RAMIREZ-CARDENAS, L.; LEONEL, A. J.; COSTA, N. M. B. Efeito do processamento doméstico sobre o teor de nutrientes e de fatores antinutricionais de diferentes cultivares de feijão comum. **Alimentação e Nutrição**, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 200-213, 2008.

REYNOLDS, T. L. et al. Natural variability of metabolites in maize grain: differences due to genetic background. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 53, n. 26, p. 10061-10067, 2005.

RIBEIRO, N. D. et al. Composição de microminerais em cultivares de feijão e aplicações para o melhoramento genético. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 267-273, abr./jun. 2008.

RIBEIRO, N. D. Potencial de aumento da qualidade nutricional do feijão por melhoramento genético. **Semina: ciências agrárias**, Londrina, v. 31, p. 1367-1376, 2010. Supl. 1.

ROSA, S. S. et al. Potential for increasing the zinc content in common bean using genetic improvement. **Euphytica**, Wageningen, v. 175, n. 2, p. 207-213, 2010.

SANTOS, S. C. et al. Multivariate characterization of bean varieties according to yield production mineral and phenolic contents. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 21, n. 10, p. 1917-1922, 2010.

SATHE, S. K.; VENKATACHALAM, M. Bean. In: WRIGLEY, C.; CORKE, H.; WALKER, C. E. **Encyclopedia of grain science**. St. Louis: Elsevier, 2004. v. 1, p. 76-86.

SCHUURMANS, J. et al. Members of the aquaporin family in the developing pea seed coat include representatives of the PIP, TIP and NIP subfamilies. **Plant Molecular Biology**, Dordrecht, v. 53, p. 655-667, 2003.

SILVA, C. A. et al. Genetic variability protein and mineral content in common bean lines (*Phaseolus vulgaris* L.). **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 53, p. 144-145, 2010.

SILVA, C. A. **Potencial de linhagens de feijão com relação aos teores de proteína e minerais nas sementes**. 2011. 95 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

SINGH, S. P.; GEPTS, P.; DEBOUCK, D. G. Races of common bean (*Phaseolus vulgaris*, FABACEAE). **Economic Botany**, New York, v. 45, p. 379-396, 1991.

SOUZA, F. H. D.; MARCOS FILHO, J. The seed coat as a modulator of seed-environmental relationships in Fabaceae. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 24, n. 4, p. 365-375, 2001.

VENCOVSKY, R. Genética quantitativa. In: KERR, W. E. **Melhoramento e genética**. São Paulo: Melhoramento, 1969. p.17-38.

VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. P. (Ed.). **Melhoramento e produção de milho**. Campinas: Fundação Cargill, 1987, v. 1, p. 137-214.

WATERS, B. M.; SANKARAN, R. P. Moving micronutrient from the soil to the seeds: genes and physiological processes from a biofortification perspective. **Plant Science**, Limerick, v. 180, p. 562-574, 2011.

WELCH, R. M. et al. Genetic selection for enhanced bioavailable levels of iron in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 48, n. 8, p. 3576-3580, 2000.

WELCH, R. M. et al. Improving the mineral reserves and protein quality of maize (*Zea mays* L.) kernels using unique genes. **Plant and Soil**, The Hague, v. 155/156, n. 1, p. 215-218, 1993.

WELCH, R. M. Linkages between trace elements in food crops and human health. In: ALLOWAY, B. J. (Ed.). **Micronutrient deficiencies in global crop production**. New York: Springer, 2008. p. 287-309.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Biofortifying crops with essential mineral elements. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 10, n. 12, p. 586-593, 2009.

ZUO, Y.; ZHANG, E. Iron and zinc biofortification strategies in dicot plants by intercropping with gramineous species: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 29, n. 1, p. 63-71, 2009.

**CAPÍTULO 2 Potencial para melhoramento e variabilidade genética para
composição mineral e teor de proteína de cultivares e
linhagens de feijão**

RESUMO

A deficiência de nutrientes minerais, especialmente Fe e Zn, afligem mais de três bilhões de pessoas no mundo devido ao reduzido consumo desses minerais na dieta. No presente estudo, a composição mineral e o teor de proteína foram avaliados nos acessos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) pertencentes ao banco de germoplasma do Instituto Agronômico do Paraná – IAPAR, visando identificar entre os acessos avaliados aqueles que apresentam potencial para serem usados em programas de melhoramento. Um total de 1.480 acessos, incluindo materiais silvestres, variedades antigas, linhagens e cultivares em uso, foram caracterizadas neste estudo em quatro locais para os teores de proteína, teores de micronutrientes (Fe, Zn, Cu, Mn) e macronutrientes (P, Ca, K, Mg, S) nos grãos. Uma grande diversidade genética foi encontrada entre os acessos para todos os nutrientes encontrados nos grãos. Esse fato pode ser verificado pela grande amplitude de variação encontrada para todos os nutrientes nos acessos avaliados. Também foi verificado que a composição química dos grãos pode variar em função do local de cultivo. Foi encontrada uma associação positiva e significativa entre os teores de minerais e proteínas nos grãos. Esse fato é favorável para o melhoramento, pois quando é realizada a seleção para altos teores de um determinado mineral será efetuada simultaneamente uma seleção indireta para aumentar o teor de outro nutriente. O germoplasma de feijão avaliado oferece oportunidades para explorar alelos favoráveis para as propriedades nutricionais dos grãos.

Palavras-chave: Banco de germoplasma. Qualidade dos grãos. Ferro. Zinco. Proteína.

ABSTRACT

The deficiency of mineral nutrients, especially Fe and Zn, afflicts over three billion people worldwide due to reduced consumption of these minerals in the diet. In the current study, the mineral composition and protein level were assessed in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) belonging to germplasm bank of the Agronomic Institute of Paraná - IAPAR, aiming to identify among the accessions tested those that have potential to be used in improvement programs. A total of 1.480 accessions, including wild materials, old varieties, lines and cultivars in use, were characterized in this study in four localities for protein and micronutrient levels (Fe, Zn, Cu, Mn) and macronutrients (P, Ca, K, Mg, S) in the grains. Wide genetic diversity was found among the accessions for all nutrients found in the grains. This fact can be verified by the large range of variation found for all nutrients in the accessions evaluated. It was also verified that the chemical composition of the grains can vary according to the growing site. It was found a significant positive association between levels of minerals and proteins in the grains. This fact is favorable for the improvement, for when the selection is performed for high levels of a determined mineral will be carried out simultaneously an indirect selection to increase the level of another nutrient. The common bean germplasm analyzed offers opportunities to explore favorable alleles for grain nutrient properties.

Keywords: Germplasm bank. Grain quality. Iron. Zinc. Protein.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente a má nutrição provocada pela ingestão deficiente de minerais é um grave problema de saúde pública. Ao redor do mundo foi estimado que mais de três bilhões de pessoas sofrem com a má nutrição de micronutrientes (WELCH; GRAHAM, 2004; WHITE; BROADLEY, 2009). Os minerais são essenciais para o bem-estar humano e desempenham importantes papéis no funcionamento do organismo, atuando no transporte de oxigênio, metabolismo energético, balanço hídrico e atividade enzimática e estrutural (CUZZOLINO, 2007). A deficiência de minerais na dieta humana é decorrente do baixo teor de minerais cátions nos alimentos básicos, combinado com fatores antinutricionais presentes nesses alimentos, reduzindo sua biodisponibilidade. A deficiência de minerais pode ocorrer em todas as faixas etárias da população, porém os maiores danos são observados em mulheres e crianças (GHANDILYAN; VREUGDENHIL; AARTS, 2006).

Uma dieta alimentar equilibrada pode melhorar a qualidade de vida da população e diminuir a ocorrência de doenças provocadas pela ingestão inadequada de nutrientes. Portanto, iniciativas que melhorem a qualidade nutricional dos alimentos, principalmente aqueles comuns à dieta alimentar como o feijão, devem ser apoiadas. O incremento do valor nutricional dos grãos pode ser feito utilizando-se práticas agrícolas como a aplicação de fertilizantes minerais ou por meio de métodos de melhoramento genético denominado de “Biofortificação”, sendo que esta é considerada uma abordagem com melhor relação custo/benefício para amenizar os problemas de saúde pública relacionados com a má nutrição (WELCH; GRAHAM, 2004).

Os grãos de feijão apresentam alto valor nutricional por mostrarem quantidades significativas de minerais, vitaminas, proteínas, carboidratos e baixo conteúdo de lipídeos (LAJOLO; GENOVESE; MENEZES, 1996). Os grãos

desta leguminosa são amplamente empregados na dieta da população em vários países na África, América Latina e principalmente no Brasil, onde o feijão constitui um dos principais itens da dieta do brasileiro (BROUGHTON et al., 2003).

A composição mineral dos grãos de feijão pode variar em função de diversos fatores, entre eles podem-se mencionar a constituição genética das cultivares, as características edafoclimáticas dos locais de cultivo e a presença das interações dos genótipos com os ambientes (GxA) (ARAÚJO et al., 2003; RIBEIRO, 2010). No entanto, para o melhoramento de plantas o principal pré-requisito é a presença de variabilidade genética, e a sua existência possibilita a obtenção de cultivares com características agronômicas desejáveis e com alto valor nutricional. Trabalhos realizados anteriormente tem relatado a existência de variabilidade genética para teor de proteínas, minerais e fibras nos grãos de cultivares e linhagens no Brasil (AKOND et al., 2011; ARAÚJO et al., 2003; BURATTO et al., 2009; DALLA CORTE et al., 2003; LONDERO et al., 2005; SILVA et al., 2010) e no exterior (BEEBE; GONZALEZ; RENGIFO, 2000; ISLAM et al., 2002; PINHEIRO et al., 2010).

Os bancos de germoplasma são ótimas fontes de alelos para os programas de melhoramento genético por reunirem germoplasma com constituições genéticas de diferentes origens e níveis de melhoramento (variedades crioulas usadas por agricultores, cultivares antigas e cultivares modernas melhoradas). No entanto, para que o melhorista possa usar de maneira eficiente essa variabilidade é necessário primeiramente conhecê-la na coleção de germoplasma, e assim identificar os acessos que apresentam potencial de uso para propósitos específicos, como por exemplo, a qualidade nutricional dos grãos. A avaliação dessa diversidade genética permite uma visão abrangente a respeito da estrutura genética de uma espécie, auxiliando o melhorista o acesso aos alelos de diferentes *backgrounds* genéticos. Atualmente, métodos de análise

são disponíveis para a avaliação da diversidade genética em acessos, linhagens ou populações, sendo que esses métodos têm sido aplicados a dados morfológicos, agronômicos, bioquímicos e moleculares (MOHAMMADI; PRAZANNA, 2003).

O estudo da diversidade genética tem diversas aplicações no melhoramento, tais como: análise da variabilidade genética em cultivares; a introgressão de genes, no qual consiste em transferir pequeno número ou complexos gênicos para germoplasma melhorados; o desenvolvimento de populações com ampla base genética, adaptadas e com desempenho agrônomico aceitável; pré-melhoramento, que se refere a atividades de pesquisa básica cujo foco é facilitar o uso de germoplasma não adaptados (HAUSSMANN et al., 2004; MOHAMMADI; PRAZANNA, 2003).

O conhecimento da variabilidade genética para as características relacionadas aos teores de minerais como o ferro, zinco, cálcio, entre outros nos grãos de feijão, a correlação entre eles, bem como o comportamento desses caracteres frente às variações ambientais, são fundamentais para o sucesso de um programa de melhoramento genético visando à biofortificação dos grãos de feijão. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a composição mineral (teor de P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn, Fe e S) e teor de proteína de acessos de feijão pertencentes ao banco de germoplasma do Instituto Agrônomico do Paraná (IAPAR) visando identificar entre os acessos avaliados aqueles que apresentam potencial para serem utilizados como genitores em programas de melhoramento visando à obtenção de cultivares com grãos de maior valor nutricional.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material genético

O Banco Ativo de Germoplasma (BAG) de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) do IAPAR atualmente é composto por 7.480 acessos, constituído por germoplasma silvestres, variedades crioulas, variedades em desuso, linhagens e cultivares em uso. O germoplasma disponível é resultado de pesquisa em melhoramento genético ou de introduções efetuadas junto ao Instituto Agronômico de Campinas - IAC, Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT, Embrapa Arroz e Feijão e Universidades nacionais e internacionais.

Com o intuito de conhecer a variabilidade genética para teores de minerais e proteína presente no BAG de feijão do IAPAR, foi avaliada uma amostra de 1.480 acessos, representando diferentes grupos comerciais, diferentes centros de origem e conjuntos gênicos.

2.2 Locais de avaliação

Os acessos foram semeados em três locais do Estado do Paraná e em duas safras agrícolas. Na safra das águas de 2009, a semeadura foi realizada no mês de setembro em Pato Branco – PR (altitude: 760m; latitude: 26°13' Sul; longitude: 52°40' Oeste) e Lapa - PR (altitude: 908m; latitude: 25°46' Sul; longitude: 49°42' Oeste), e na safra da seca de 2010, semeadura efetuada no mês de janeiro em Ponta Grossa – PR (altitude: 975m; latitude: 25°05' Sul; longitude: 50°09' Oeste) e Lapa – PR (altitude: 908m; latitude: 25°46' Sul; longitude: 49°42' Oeste).

2.3 Condução dos experimentos

Cada parcela foi constituída por uma fileira de 4,00m de comprimento, espaçada 0,50 m entre fileira e com densidade de 12 plantas por metro linear. A adubação de base foi efetuada aplicando-se 300 kg.ha⁻¹ do adubo formulado 4-30-10 (N, P₂O₅, K₂O) e no estágio de desenvolvimento V3 foram aplicados em cobertura 200 kg.ha⁻¹ de sulfato de amônio. O controle de pragas, doenças e plantas invasoras foi efetuado segundo as recomendações técnicas para a cultura. Após a maturidade fisiológica (R9), efetuou-se a colheita de cada parcela experimental, retirando-se uma amostra de 100g de sementes sem danos físicos ou danos causados por insetos e livre de doenças, as quais foram armazenadas em câmara fria com temperatura de 5,6°C e 33% de umidade, até a realização das análises laboratoriais.

2.4 Análises laboratoriais

Os teores de minerais (P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn, Fe e S) e os teores de proteína foram quantificados em amostras de grãos de feijão dos acessos de feijão pertencentes ao banco de germoplasma de feijão do IAPAR. Para execução das análises laboratoriais, inicialmente as amostras foram lavadas com água de torneira e depois com água destilada para evitar a contaminação por partículas de solo que porventura estivessem juntas com as sementes. Posteriormente, as sementes foram secas em estufa a 60° C por 48h e posteriormente moidas e a farinha obtida foi acondicionada em recipiente de vidro.

O teor de proteína foi quantificado por espectrofotometria pelo método de Kjeldahl, como descrito por Miyazawa et al. (1999). Inicialmente foi realizada a leitura de N no espectrofotômetro UV-VIS, marca comercial Varian.

Utilizou-se o fator 6,25 para converter o nitrogênio total da semente em proteína bruta ($N \times 6,25$), e posteriormente corrigido para base seca.

Para a determinação dos teores dos minerais foi utilizada a metodologia descrita por Miyazawa et al. (1999), que consiste na digestão nitroperclórica com a solução de $HNO_3:HClO_4$, na proporção 3:1 de 0,4g da farinha de cada amostra em um tubo digestor de 80ml. Os minerais foram determinados em espectrofotômetro de emissão atômica (ICP), Thermo Jarrel Ash ICAP 61E.

2.5 Análise estatística

Em decorrência do grande número de acessos avaliados e da limitação de área experimental e disponibilidade de mão de obra não foi possível utilizar repetições dentro de cada local. Portanto, para efetuar a análise de variância, cada local foi considerado como uma repetição. O efeito da interação acessos x locais corresponde ao erro experimental. A análise estatística dos dados foi efetuada de acordo com o seguinte modelo matemático: $Y_{ij} = m + A_i + L_j + AL_{ij}$. Em que: Y_{ij} = observação do acesso i no ambiente j ; m = média da população; A_i = efeito do acesso i ($i = 1, 2, \dots, 1480$); L_j = efeito do ambiente j ($j=1, 2, 3, 4$); AL_{ij} desvio da observação no ambiente j no acesso (i). Para a análise de variância e esperança matemática dos quadrados médios foi utilizado o esquema proposto por Steel, Torrie e Dickei (1997), considerando-se os efeitos de acessos e ambientes como aleatórios.

Para todos os dados obtidos, referentes à qualidade nutricional dos grãos de feijão, foi efetuada uma análise estatística descritiva, no qual inclui os valores mínimo, máximo, média, coeficiente de variação (CV), assimetria e curtose.

Os coeficientes de correlação de Pearson foram estimados para verificar a associação entre os teores de diferentes minerais e proteína. Os dados também foram submetidos à análise multivariada, em que o dendrograma foi obtido pela

análise de agrupamento dos acessos utilizando o método de ligação Ward e distância *mahalanobis* como medida de dissimilaridade. As análises estatísticas foram efetuadas com o auxílio do Programa R (R CORE DEVELOPMENT TEAM, 2010).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 foi possível observar efeito o significativo ($P < 0,01$) para acesso e ambiente para todos os caracteres avaliados. Esses resultados indicam a presença de variabilidade genética para os teores de minerais e proteína no banco de germoplasma. A amplitude de variação encontrada para os teores de nutrientes quantificados nos grãos pode ser observada na Tabela 2 e Tabela 3. Nos acessos avaliados estão presentes germoplasma de diferentes origens e colorações de tegumento, e estes apresentaram variabilidade genética para os teores dos minerais fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, zinco, manganês, ferro e enxofre e teor de proteína. A presença de variabilidade genética para os teores de nutrientes nos grãos foi detectada em bancos de germoplasma de feijão localizados no Brasil (SILVA et al., 2010), Colômbia (BEEBE et al., 2000; ISLAM et al., 2002) e Portugal (PINHEIRO et al., 2010). Também foi verificada a significância do efeito ambiental, indicando que a quantidade de minerais e proteína nos grãos de feijão é influenciada pelo ambiente, essas diferenças devem-se provavelmente às diferentes condições edafoclimáticas dos locais onde foram conduzidos os ensaios.

Tabela 1 Resumos das análises de variância para os teores de minerais e proteína avaliados em 1.480 acessos de feijão do banco de germoplasma do IAPAR, cultivados em Pato Branco - PR e Lapa - PR na safra das águas de 2009 e Ponta Grossa - PR e Lapa - PR na safra da seca de 2010

FV	GL	QM				
		P	K	Ca	Mg	Cu
Ambiente (L)	3	779,88**	1012,52**	89,68**	26,979**	4623,73**
Acesso (A)	1479	1,184**	4,604**	0,171**	0,069**	6,676**
Resíduo	4437	0,9416	3,411	0,078	0,030	3,777
Total	5919					

“continua”

Tabela 1 “conclusão”

FV	GL	QM				
		Zn	Mn	Fe	S	Proteína
Ambiente (L)	3	54793,30**	946,007**	120574,2**	89,606**	483936**
Acesso (A)	1479	31,583**	12,100*	232,49**	0,171**	560,8**
Resíduo	4437	20,124	5,457	186,13	0,119	504
Total	5919					

**/ * significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente pelo Teste F.

Tabela 2 Estatística descritiva para teores de minerais e proteína avaliados em amostras de grãos de feijão do banco de germoplasma do IAPAR obtidos em Pato Branco - PR e Lapa - PR na safra das águas de 2009 e Ponta Grossa - PR e Lapa - PR na safra da seca de 2010

Nutriente	Mínimo	Máximo	Média	CV ¹ (%)	Assimetria	Curtose
P (g.kg ⁻¹)	2,24	11,17	6,5	18,1	0,571	2,984
K (g.kg ⁻¹)	7,00	26,00	17,4	11,8	0,021	3,609
Ca (g.kg ⁻¹)	0,50	3,11	1,5	25,7	0,436	2,959
Mg (g.kg ⁻¹)	1,04	3,08	2,2	10,5	-0,026	3,132
Cu (mg.kg ⁻¹)	1,25	29,36	12,6	20,8	0,821	4,891
Zn (mg.kg ⁻¹)	20,11	59,76	36,2	19,7	0,100	2,550
Mn (mg.kg ⁻¹)	8,05	30,58	16,6	16,6	0,577	4,052
Fe (mg.kg ⁻¹)	39,71	149,90	80,3	20,0	0,500	3,556
S (g.kg ⁻¹)	0,33	3,78	2,6	16,4	-1,995	11,191
Proteína (%)	10,08	31,25	20,3	13,6	0,249	2,939

¹ CV = Coeficiente de variação (%).

Tabela 3 Valores mínimos, máximos e médios em acessos de feijão do banco de germoplasma do IAPAR avaliados para teores de minerais e proteína em 1480 amostras de grãos obtidos de cada local. Pato Branco - PR e Lapa - PR na safra das águas de 2009 e Ponta Grossa - PR e Lapa - PR na safra da seca de 2010

Nutriente	Pato Branco (Águas/2009)			
	N	Mínimo	Máximo	Média
P (g.kg ⁻¹)	1480	3,21	11,17	7,36
K (g.kg ⁻¹)	1480	10,00	26,00	16,19
Ca (g.kg ⁻¹)	1480	0,71	3,11	1,79
Mg (g.kg ⁻¹)	1480	1,42	3,04	2,33
Cu (mg.kg ⁻¹)	1480	6,84	26,96	13,75

“continua”

Tabela 3 “conclusão”

Nutriente	Pato Branco (Águas/2009)			
	N	Mínimo	Máximo	Média
Zn (mg.kg ⁻¹)	1480	21.14	58.45	40.80
Mn (mg.kg ⁻¹)	1480	9.14	26.85	17.44
Fe (mg.kg ⁻¹)	1480	41.79	148.90	89.37
S (g.kg ⁻¹)	1480	0.33	3.48	2.30
Proteína (%)	1480	13.17	29.82	21.38
Nutriente	Lapa (Águas/2009)			
	N	Mínimo	Máximo	Média
P (g.kg ⁻¹)	1480	2.24	7.69	5.66
K (g.kg ⁻¹)	1480	12.00	26.00	17.56
Ca (g.kg ⁻¹)	1480	0.62	2.41	1.31
Mg (g.kg ⁻¹)	1480	1.04	2.71	2.07
Cu (mg.kg ⁻¹)	1480	1.25	27.29	11.36
Zn (mg.kg ⁻¹)	1480	20.11	59.59	27.84
Mn (mg.kg ⁻¹)	1480	10.37	29.71	16.80
Fe (mg.kg ⁻¹)	1480	39.71	149.60	81.69
S (g.kg ⁻¹)	1480	1.51	3.19	2.44
Proteína (%)	1480	10.08	26.05	17.65
Nutriente	Ponta Grossa (Seca/2010)			
	N	Mínimo	Máximo	Média
P (g.kg ⁻¹)	1480	4.06	9.39	6.27
K (g.kg ⁻¹)	1480	7.00	25.00	17.61
Ca (g.kg ⁻¹)	1480	0.52	2.62	1.27
Mg (g.kg ⁻¹)	1480	1.19	3.08	2.15
Cu (mg.kg ⁻¹)	1480	6.16	27.85	10.82
Zn (mg.kg ⁻¹)	1480	21.50	53.53	35.58
Mn (mg.kg ⁻¹)	1480	9.44	30.33	16.61
Fe (mg.kg ⁻¹)	1480	40.36	132.30	67.83
S (g.kg ⁻¹)	1480	1.61	3.72	2.68
Proteína (%)	1480	15.22	30.90	21.57
Nutriente	Lapa (Seca 2010)			
	N	Mínimo	Máximo	Média
P (g.kg ⁻¹)	1480	4.04	10.40	6.81
K (g.kg ⁻¹)	1480	7.00	24.00	18.12
Ca (g.kg ⁻¹)	1480	0.50	3.08	1.60
Mg (g.kg ⁻¹)	1480	1.47	3.01	2.35
Cu (mg.kg ⁻¹)	1480	7.75	29.36	14.43
Zn (mg.kg ⁻¹)	1480	23.65	59.76	40.63
Mn (mg.kg ⁻¹)	1480	8.05	30.58	15.52
Fe (mg.kg ⁻¹)	1480	39.95	149.90	82.47
S (g.kg ⁻¹)	1480	1.85	3.78	2.86
Proteína (%)	1480	13.67	31.25	20.43

Na Tabela 2 são apresentados os resultados da estatística descritiva considerando todos os locais. Verifica-se que os coeficientes de variação oscilaram de 10,5% para teor de magnésio a 25,07% para teor de cálcio. Com relação aos coeficientes de assimetria, observa-se que para o teor de K o coeficiente de assimetria foi próximo a 0 (zero), portanto a distribuição foi considerada simétrica. Para os teores de P, Ca, Cu, Zn, Mn, Fe e Proteína o coeficiente de assimetria foi maior que zero, indicando assimetria à direita (assimetria positiva). Para Mg e S foi observado coeficiente de assimetria menor que zero, portanto para estes nutrientes foi observado distribuição assimétrica a esquerda (assimetria negativa) (Tabela 2).

O grau de achatamento de uma distribuição é denominado de curtose. As distribuições que apresentam valor de curtose igual a 3 são denominadas de mesocúrticas, esse fato foi observado para teor de Mg e Proteína, cujos valores de curtose são muito próximas a 3. Os nutrientes K, Cu, Mn, Fe e S apresentam valor de curtose maior que 3, portanto foram classificadas como leptocúrticas. Os nutrientes P, Ca, Zn e proteína apresentaram valor de curtose menor que 3, sendo classificadas como platicúrticas. As distribuições leptocúrticas apresentam uma distribuição de valores próxima ao valor central, maior que a distribuição mesocúrtica. Nas distribuições platicúrticas ocorre uma menor concentração de valores em torno do centro da distribuição (FERREIRA, 2009).

Na Tabela 6 são apresentadas a classificação dos acessos quanto aos teores dos minerais P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn, Fe, S e teor de proteína nos grãos. Considerando que no banco de germoplasma estão presentes materiais dos mais diferentes níveis de melhoramento (germoplasma silvestres, variedades crioulas, variedades em desuso, linhagens e cultivares em uso) e adaptação, na classificação geral para cada um dos nutrientes apresentados na Tabela 6 foi observado que os acessos que obtiveram melhor classificação para os minerais Fe e Mn foram as linhagens melhoradas. No entanto, para outros nutrientes os

acessos que se destacaram apresentando maiores teores de minerais e proteínas são germoplasma mais antigos e com menor produtividade de grãos, porém para fins de melhoramento, isso não impede que se use esse germoplasma como genitores em programas de melhoramento.

Nos acessos de feijão o teor de P médio nos grãos foi de $6,5 \text{ g.kg}^{-1}$, e a amplitude de variação foi de 2,24 a $11,17 \text{ g.kg}^{-1}$ (Tabela 2). Esses valores são maiores que a variação encontrada por Silva et al. (2010) ($4,0$ a $6,1 \text{ g.kg}^{-1}$) e Islam et al. (2002) ($2,2$ a $7,1 \text{ g.kg}^{-1}$) para o teor de P. Na avaliação dos acessos da coleção núcleo do banco de germoplasma do CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) na Colômbia foi observado que as sementes de feijão do grupo gênico Mesoamericano apresentam maior média para o teor de fósforo quando comparadas às sementes do grupo Andino (ISLAM et al., 2002).

A variação do teor de Ca foi de $0,50$ a $3,11 \text{ g.kg}^{-1}$ e a média geral foi de $1,50 \text{ g.kg}^{-1}$ (Tabela 2). O mineral Ca em grãos de feijão encontra-se em maior proporção no tegumento da semente. Há evidências de que a proporção de cálcio no tegumento da semente pode chegar até a 94,5% (RIBEIRO et al., 2012). Um estudo feito por Grusak e Abrams (2010) relata que também ocorre variabilidade genética para o teor de Ca em vagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Outro dado interessante é que a concentração de Ca também pode variar em função do tamanho da vagem, e uma provável explicação para fato é que o cálcio é transportado via xilema para as vagens em desenvolvimento. Embora nas vagens ocorra a presença de estômatos não funcionais, isso indica que o fluxo de transpiração não estomática predomine, e que as diferenças genotípicas na concentração de Ca do fluido do xilema pode influenciar o fluxo de cálcio para as vagens (GRUSAK; ABRAMS, 2010).

O teor de K apresentou variação de $7,00$ a $26,00 \text{ g.kg}^{-1}$, e média geral de $17,4 \text{ g.kg}^{-1}$ (Tabela 2). O menor teor de K nos grãos de feijão foi de $4,42 \text{ g.kg}^{-1}$ encontrado em Barampama e Simard (1993) e o maior valor encontrado foi de

24,8g.kg⁻¹ observado por Mesquita et al. (2007). Poerch et al. (2011) verificaram forte influência do efeito ambiental no controle dessa característica dificultando o melhoramento, e com os genitores utilizados em seu estudo não foi observado ganhos genéticos significativos, porém esse fato pode ter ocorrido devido ao pequeno número de cultivares avaliadas. No presente estudo foi averiguado uma grande amplitude de variação para teor de K nas sementes de feijão no banco de germoplasma do IAPAR e portanto, supõe-se que seja possível incrementar o teor deste mineral nos grãos de feijão selecionando-se acessos candidatos a genitores para o programa de melhoramento.

Para os macrominerais Mg e S pode ser observado variação de 1,04 a 3,08 g.kg⁻¹ para Mg e 0,33 a 3,78g.kg⁻¹ para S. Na avaliação feita em 100 linhagens de feijão feita por Silva et al. (2010) foi encontrada variação de 1,9 a 2,9 g.kg⁻¹ para Mg, no entanto para o teor deste mineral foram encontrados valores de até 3,4 g.kg⁻¹ (MESQUITA et al., 2007). Já a amplitude de variação para teor de S encontrado neste estudo foi diferente a encontrada por Islam et al. (2002) (1,5 a 3,1 g.kg⁻¹).

Com relação aos microminerais, foram quantificados nos acessos os teores dos minerais Cu, Zn, Mn e Fe nos grãos. Neste trabalho foi observado que os acessos apresentaram uma considerável amplitude de variação para os teores de microminerais, em que foi verificada variação de 1,25 a 29,3 mg.kg⁻¹ para Cu; 8,05 a 30,58 mg.kg⁻¹ para Mn; 39,71 a 149,9 mg.kg⁻¹ para Fe; 20,11 a 59,76 mg.kg⁻¹ para Zn.

A deficiência de alguns minerais, como o Fe e Zn é considerada problemática, afetando a saúde de milhares de pessoas no mundo, no caso da deficiência de Fe os mais prejudicados são as mulheres e crianças em países em desenvolvimento (ISLAM et al., 2002). Uma dieta deficiente em zinco pode provocar atraso no crescimento, cicatrização lenta, impotência sexual e

intolerância à glicose pela diminuição da produção de insulina (MAFRA; COZZOLINO, 2004).

O teor de proteína bruta nos grãos varia em função do genótipo, do ambiente que foi feito o cultivo e da interação genótipos por ambientes (BURATTO et al., 2009). Nos acessos avaliados o teor de proteína nos grãos variou de 10,08% a 31,25%. É importante ressaltar a importância social dessa leguminosa no Brasil, uma vez que os grãos de feijão apresentam menor custo em relação à carne bovina, que o torna uma valiosa fonte de proteína para as populações economicamente menos favorecidas.

A utilização do coeficiente de correlação possibilita quantificar o grau de associação entre duas variáveis. Na Tabela 4 são apresentadas as estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson entre os teores de minerais e proteína estudados.

Tabela 4 Estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson para os teores de minerais e proteína avaliados em 1.480 acessos de feijão do banco de germoplasma do IAPAR

	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	S	Proteína
P	1	0.29**	0.07**	0.28**	0.33**	0.49**	ns	0.26**	0.27**	0.35**
K		1	0.13**	0.22**	0.24**	0.3**	0.09**	0.18**	0.09**	ns
Ca			1	0.37**	0.15**	0.22**	0.46**	0.27**	0.1**	-0.1**
Mg				1	0.36**	0.15**	0.38**	0.15**	0.24**	0.12**
Cu					1	0.44**	0.27**	0.35**	0.21**	0.2**
Zn						1	0.31**	0.42**	0.36**	0.13**
Mn							1	0.32**	0.33**	-0.05*
Fe								1	0.24**	ns
S									1	0.15**
Prot eína										1

**/*: Significativo a 1 e 5%. Teste t.

As estimativas dos coeficientes de correlação variaram de -0,1 a 0,49. Observa-se que a magnitude dos coeficientes de correlação obtidos foi de pequena a média. Para a maioria dos nutrientes avaliados as correlações foram positivas e significativas, e esse é um aspecto favorável para o melhoramento,

pois quando é realizada a seleção para altos teores de um determinado mineral será efetuada simultaneamente uma seleção indireta para aumentar o teor de outro nutriente. No caso da acumulação de ferro e zinco em semente de feijão, Blair et al. (2010) verificaram que alguns genes em comum controlando a acumulação de ambos os minerais.

A análise de agrupamento tem por finalidade reunir as cultivares e linhagens em grupos, de tal forma que exista homogeneidade dentro do grupo e heterogeneidade entre grupos. Os indivíduos ou unidades amostrais são agrupados em vários níveis até que seja constituído um dendrograma, ou diagrama de árvore (CRUZ; CARNEIRO, 2003). Com o intuito de se observar os padrões de agrupamento entre os acessos do banco de germoplasma foi utilizada uma análise de agrupamento hierárquico em que foi possível observar quatro grupos. Ao todo foram avaliados 1.480 acessos de feijão, em que no Grupo 1 estão inseridas 21,28% dos acessos; no Grupo 2 estão 37,88%; no Grupo 3 estão 16,82% e no Grupo 4 estão 24,05% (Figura 4).

Na Tabela 5 observam-se como os acessos com diferentes colorações de tegumento estão distribuídos nos quatro grupos obtidos no dendrograma. Foram avaliados acessos com as mais variadas colorações da semente, sendo que os acessos com o tegumento do tipo comercial carioca e preto compreendem juntos 67,1% do total dos acessos avaliados. Os acessos do tipo “mulatinho” responde por 9,4% do total, seguido dos “pardos” com 3,7% e “vermelhos” com 2,8%.

Verifica-se que dos 450 acessos com grãos do tipo carioca, a maior parte desses acessos encontram-se no grupo 2. Já os acessos denominados de “carioca HL”, ou seja, grãos do tipo carioca com halo laranja ao redor do hilo da semente, estão principalmente nos Grupo 1 e 2. Os acessos classificados como “carioca preto” apresentam tegumento de cor creme com listras de cor preta, estão distribuídos nos 4 grupos.

Tabela 5 Distribuição dos 1.480 acessos de feijão por cor de tegumento nos quatro grupos formados pelo dendrograma

Cor do tegumento	N° de acessos				Total	Total (%)
	Grupo1	Grupo2	Grupo3	Grupo4		
Bico de ouro	3	3	0	1	7	0.5
Bolinha (amarelo)	2	0	0	0	2	0.1
Bolinha (marmoriz)	1	0	0	0	1	0.1
Bolinha (vermelho)	1	0	0	0	1	0.1
Branco	7	14	7	1	29	2.0
Carioca	25	216	91	118	450	30.4
Carioca HL	15	29	0	9	53	3.6
Carioca preto	11	4	2	5	22	1.5
Carioca roxo	1	0	0	0	1	0.1
Creme	3	1	0	0	4	0.3
Creme pintado hl	1	0	0	0	1	0.1
Enxofre	20	7	0	1	28	1.9
Jalo	3	0	0	0	3	0.2
Jalo creme	1	0	0	0	1	0.1
Mármore	1	3	0	0	4	0.3
Marrom	2	0	0	1	3	0.2
Mulatinho	28	47	31	33	139	9.4
Pardo	37	11	3	4	55	3.7
Preto	68	188	112	175	543	36.7
Preto e branco	1	0	0	0	1	0.1
Rajado	12	4	1	3	20	1.4
Rosinha	15	2	0	0	17	1.1
Rosinha HL	1	0	0	0	1	0.1
Roxinho	17	1	0	0	18	1.2
Roxo	4	0	0	0	4	0.3
Sarapintado	14	2	0	1	17	1.1
Sarapintado HL	1	0	0	0	1	0.1
Vermelho	16	23	0	3	42	2.8
Vinho	4	5	1	1	11	0.7
Vinho rajado gr.	0	0	1	0	1	0.1

Os acessos que apresentaram coloração de tegumento preto estão distribuídos pelos 4 grupos formados pelo dendrograma, e o mesmo foi verificado para os acessos cujo tipo de grão é denominado de “mulatinho” (Figura 1 e Tabela 5). A maioria dos acessos de feijão rosinha, rosinha HL, roxinho e roxo estão no grupo 1. Já os acessos que apresentam tegumento branco encontram-se em maior proporção no grupo 2.

Tabela 6 Classificação dos quinze acessos de feijão que apresentaram os maiores e menores teores médios de minerais e proteína em amostras de grãos obtidas em Pato Branco - PR e Lapa - PR na safra das águas de 2009 e Ponta Grossa - PR e Lapa - PR na safra da seca de 2010

Rank	Acesso	P (g.kg ⁻¹)	Acesso	K (g.kg ⁻¹)
1	FEB149	8.4	PP13	21.0
2	BAC285	8.2	EMP178	20.8
3	BAC288	8.2	IAPARBAC226	20.5
4	BZ1698-7	8.1	LP05-20	20.5
5	BAC289	8.1	RAI302	20.5
6	BAC286	8.0	RAI303	20.5
7	FEB75	8.0	IAPARBAC225	20.3
8	G4489	8.0	LP08-214	20.3
9	TURRIALBA4	8.0	RJR21	20.3
10	RAI302	7.9	FEB197	20.0
11	BAC291	7.9	LP07-53	20.0
12	FEB146	7.9	LP08-215	20.0
13	BAC284	7.8	NEP171	20.0
14	RAI71	7.8	G4790	19.8
15	IAPARBAC38	7.8	LP05-91	19.8
1466	LP09-108	5.2	ROXINHO44	14.3
1467	LP09-186	5.2	G4970	14.0
1468	LP09-151	5.2	IAPARBAC10	14.0
1469	LP08-217	5.1	APN18	13.8
1470	G20864	5.1	BAC267	13.8
1471	LP09-112	5.0	EP173	13.8
1472	LP09-190	5.0	ROXOCOL513	13.8
1473	LP09-158	4.9	BAT1220	13.5
1474	FEIJÃOCAVALO	4.9	CNF86-4	13.5
1475	G1414	4.9	G13571	13.5
1476	LP08-157	4.9	LPSP193.49	13.3
1477	LP09-148	4.7	RAI177	13.3
1478	G5433	4.7	G14645	13.0
1479	G9263	4.7	G2093	13.0
1480	LP09-167	4.6	BAT41	12.3
Rank	Acesso	Ca (g.kg ⁻¹)	Acesso	Mg (g.kg ⁻¹)
1	D77196	2.40	LP08-102	2.71
2	AURORA	2.34	LP08-153	2.65
3	LP08-171	2.24	LP08-169	2.63
4	O158	2.20	EMP414	2.62
5	LP08-261	2.19	IAPARBAC226	2.62
6	LP08-147	2.17	BAC291	2.59
7	G03568	2.15	IAPARBAC238	2.58
8	LP08-154	2.12	LP08-101	2.57

“continua”

Tabela 6 “conclusão”

Rank	Acesso	Ca (g.kg ⁻¹)	Acesso	Mg (g.kg ⁻¹)
9	IAPARBAC1	2.09	LP07-144	2.57
10	LP08-153	2.06	BAC239	2.57
11	LP09-78	2.02	DOR365	2.55
12	LP08-262	2.00	LP09-78	2.55
13	RAI214	2.00	LP08-104	2.54
14	ARA19	1.98	LP08-57	2.54
15	ABA34	1.95	LP08-152	2.53
1466	G20854	1.01	G190028	1.85
1467	G17666	1.00	CARNAVALALONGADO	1.84
1468	LPSPI93.180	1.00	CARNAVAL	1.84
1469	MD470	0.99	DOR202	1.84
1470	RAI283	0.98	G20864	1.83
1471	CNFP8094	0.98	G1420	1.82
1472	G22502	0.98	G1414	1.82
1473	FEIJÃOCAVALO	0.95	G22502	1.80
1474	RAI191	0.94	AFR309	1.80
1475	G9263	0.94	XAN247	1.79
1476	MD706	0.94	G4970	1.78
1477	MD714	0.94	G4644	1.78
1478	G1688	0.93	G9263	1.77
1479	G20864	0.90	G13778	1.76
1480	MD466	0.87	G122	1.75
Rank	Acesso	Cu (mg.kg ⁻¹)	Acesso	Zn (mg.kg ⁻¹)
1	LPSPI93.156	18.3	LP08-112	46.2
2	RJR22	18.2	RAI302	44.9
3	LP08-03	17.4	RJR22	44.6
4	IAPARBAC211	17.3	LPSPI93-111	44.5
5	ARA19	17.2	LP08-259	44.4
6	LP20108CLARO	17.1	BAT451	44.2
7	IAPARBAC245	16.3	LP08-233	44.1
8	BAT85	16.3	BAT40	44.1
9	LP08-04	16.3	TURRIALBA4	44.1
10	FEB75	16.3	PP10	44.0
11	LP08-37	16.2	G4489	43.6
12	G4489	16.2	G4338	43.6
13	A283	16.1	IAPARBAC20	43.2
14	LP08-53	16.1	ARC-2	43.0
15	IAPARBAC222	16.0	DOR468	42.7
1466	G190028	9.3	LP09-175	29.7
1467	G4822	9.2	PÉROLA	29.6
1468	BAC269	9.2	RAI7	29.5
1469	ROXINHO44	9.1	LP09-180	29.4

“continua”

Tabela 6 “conclusão”

Rank	Acesso	Cu (mg.kg ⁻¹)	Acesso	Zn (mg.kg ⁻¹)
1470	WAF130	9.0	LP09-186	29.4
1471	IAPARBAC8	8.9	RAI3	29.4
1472	WAF141	8.7	AETE2	29.4
1473	G13571	8.7	LP09-145	29.3
1474	ROSINHAG1	8.6	LP09-141	29.3
1475	G5433	8.4	LP09-167	29.2
1476	IAPAR31	8.2	G9263	28.1
1477	IAPARBAC305	8.0	G5433	27.7
1478	IAPARBAC206	7.9	LP09-168	27.5
1479	WAF111	7.9	G1414	27.0
1480	IAPARBAC204	7.8	G20864	27.0
Rank	Acesso	Mn (mg.kg ⁻¹)	Acesso	Fe (mg.kg ⁻¹)
1	LP07-127	24.2	LP09-39	106.4
2	LP08-02	23.8	LP08-17	105.0
3	LP08-07	23.5	LP09-166	104.2
4	LP08-04	23.3	LP07-131	103.9
5	LP07-128	23.2	FEB187	103.7
6	LP07-129	23.1	LP08-116	101.9
7	LP09-78	22.7	GX97.92.595-5	101.9
8	LP08-05	22.3	H9242	101.3
9	LP07-138	22.1	LP09-49	100.9
10	LP07-121	21.9	YESB4	100.8
11	LP07-131	21.9	LP08-251	100.8
12	LP08-06	21.7	LP09-30	100.7
13	LP07-133	21.7	LP09-48	100.5
14	LP07-126	21.6	LP08-15	100.3
15	LP08-142	21.3	LP07-137	99.7
1466	MD184	12.9	G1420	63.6
1467	A623	12.9	IAPARBAC52	63.2
1468	CAVALO1	12.9	IAPARBAC8	62.9
1469	INTPOMBO	12.9	G4825	62.8
1470	IAPAR72	12.7	G17666	62.5
1471	IAPARBAC204	12.7	JALOCNF260	62.2
1472	G20854	12.5	AETE1/42	61.9
1473	IAPARBAC8	12.4	CARIOCA	61.1
1474	GEN96-100	12.4	G9263	61.0
1475	G9263	12.4	CARIOCA60DIAS	60.7
1476	IAPARBAC305	12.4	FEIJÃOCAVALO	60.4
1477	IAPARBAC53	12.3	JALOPARANÁ1	59.7
1478	IPRCORUJINHA	12.1	AETE2	56.1

“continua”

Tabela 6 “conclusão”

Rank	Acesso	Mn (mg.kg ⁻¹)	Acesso	Fe (mg.kg ⁻¹)
1479	IAPARBAC206	12.1	G20864	53.0
1480	ROSINHA	11.8	G1414	51.8
Rank	Acesso	S (g.kg ⁻¹)	Acesso	Proteína (%)
1	EMP110	3.06	RJR21	24.3
2	LP09-166	3.02	MD732	24.1
3	LP09-88	3.02	IAPARBAC63	23.9
4	LPSPI93.111	3.02	A779	23.9
5	LP09-152	3.00	PP10A	23.8
6	LP09-89	3.00	RJR22	23.8
7	RAI302	3.00	IAPARBAC222	23.5
8	RJR21	3.00	FEB178	23.5
9	LPSPI93.100	3.00	RIZCNF59	23.5
10	PP10A	2.99	LP08-06	23.4
11	LP09-144	2.99	FEB159	23.4
12	FEB149	2.99	IAPARBAC15	23.4
13	BAC289	2.98	IAPAR72	23.3
14	RAI131	2.98	BAT41	23.3
15	BZ1698-7	2.97	IAPARBAC255	23.2
1466	GX97.92.498-4	2.01	LP09-107	17.6
1467	CARIOCA1070	2.01	LP09-15	17.6
1468	MD149	2.00	LPSPI93.48	17.6
1469	MD151-A	2.00	LP08-258	17.5
1470	FEIJÃOCAVALO	1.98	LP08-187	17.5
1471	LP04-13	1.98	G2676	17.3
1472	RAI103	1.98	G9263	17.3
1473	MD160	1.97	FEIJÃOCAVALO	17.2
1474	LPSPI93.10	1.97	LPSPI93.136	17.2
1475	EMP414	1.95	LP05-122	17.2
1476	LP06-15	1.94	LP08-200	17.1
1477	LPSPI93.9	1.94	LP09-63	17.1
1478	RIZ57	1.88	BAC246	17.0
1479	G9263	1.87	BAC247	17.0
1480	MD173	1.76	BAC81	16.9

No dendrograma esperava-se agrupar os acessos de acordo com a coloração apresentada pelo tegumento, porém esse fato não foi verificado com a análise de agrupamento, já que os grupos: preto e carioca, com o maior número de acessos encontram-se distribuídos por todos os quatro grupos formados pelo

dendrograma. Esse fato deve-se provavelmente a ampla variabilidade para os teores de minerais e proteínas que esses grupos apresentam.

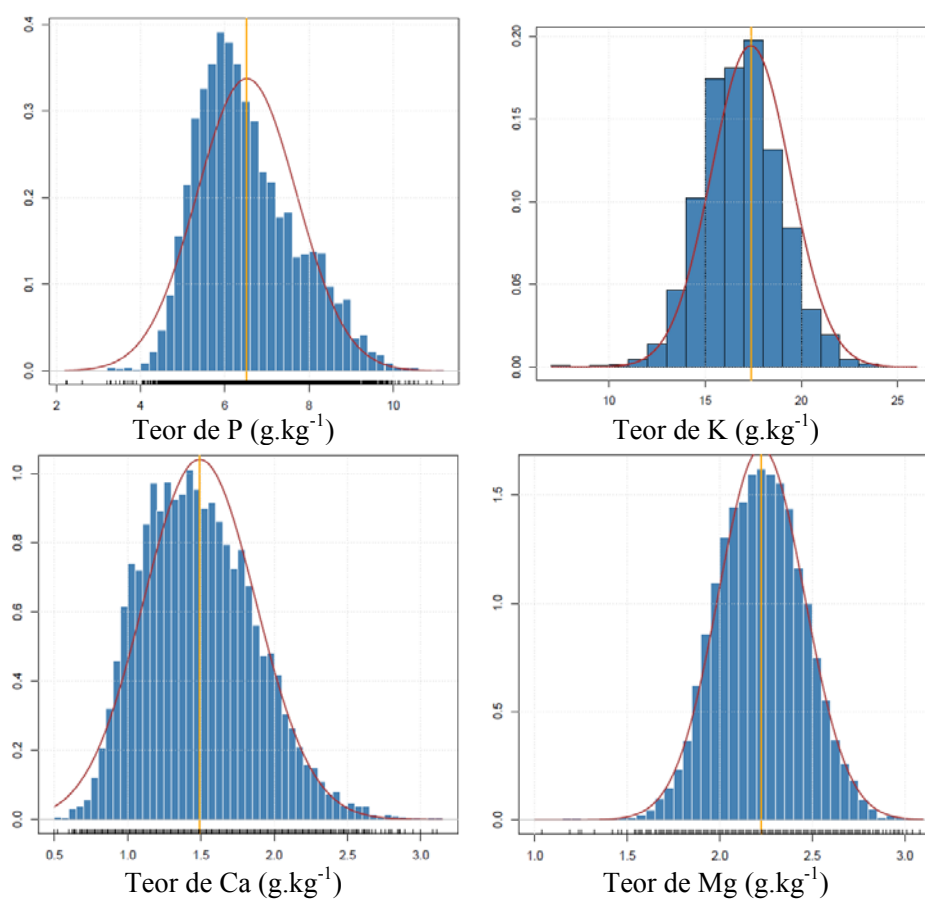


Figura 1 Histograma dos teores de P, K, Ca e Mg em grãos de feijão de 1.480 acessos do banco de germoplasma do IAPAR obtidas em Pato Branco - PR e Lapa - PR na safra das águas de 2009 e Ponta Grossa - PR e Lapa - PR na safra da seca de 2010

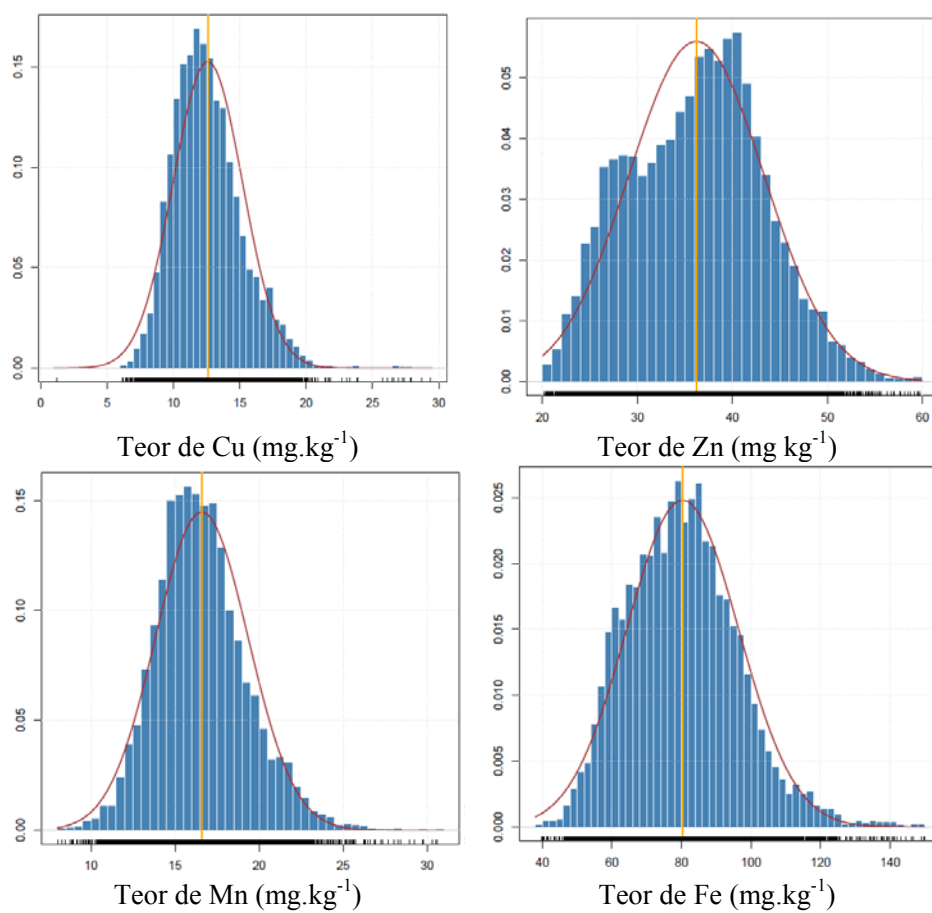


Figura 2 Histograma para os teores de Cu, Zn, Mn e Fe em grãos de feijão de 1.480 acessos do banco de germoplasma do IAPAR obtidas em Pato Branco - PR e Lapa - PR na safra das águas de 2009 e Ponta Grossa – PR e Lapa - PR na safra da seca de 2010

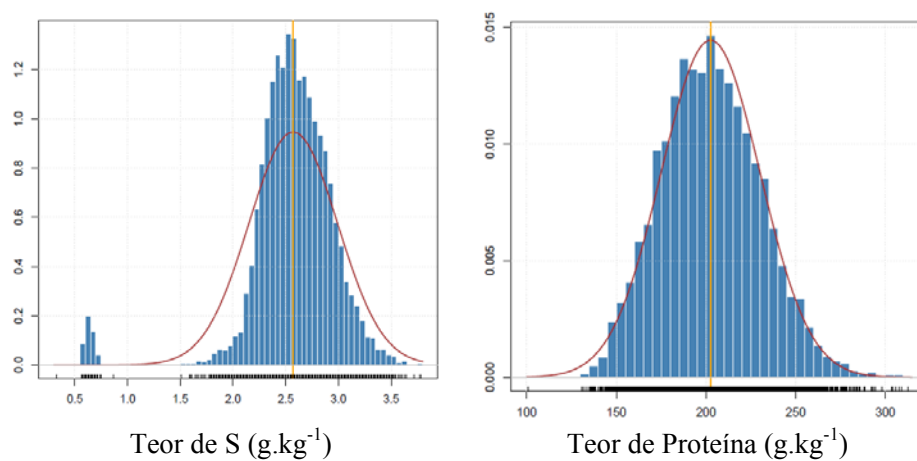


Figura 3 Histograma para os teores de S e proteína em grãos de feijão de 1.480 acessos do banco de germoplasma do IAPAR obtidas em Pato Branco - PR e Lapa - PR na safra das águas de 2009 e Ponta Grossa - PR e Lapa - PR na safra da seca de 2010

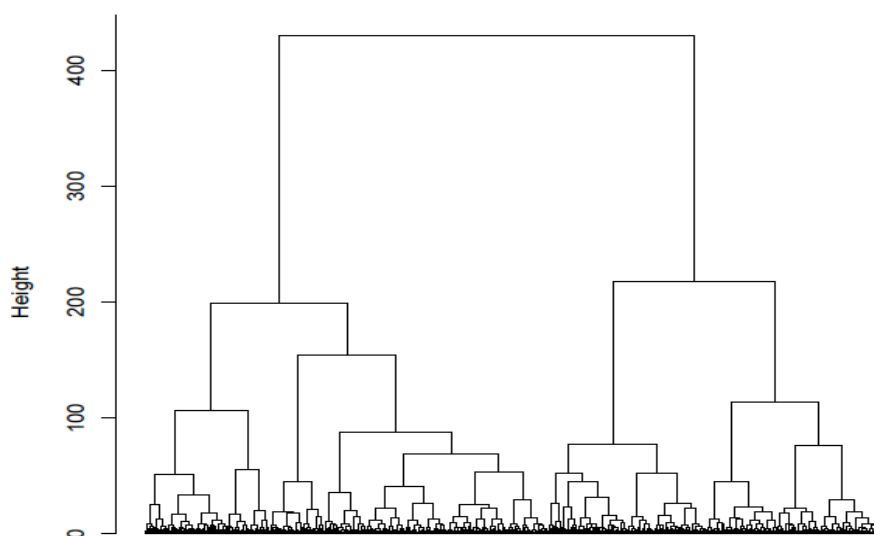


Figura 4 Dendrograma obtido pela análise de agrupamento dos teores médios de minerais e proteína dos 1.480 acessos de feijão do banco de germoplasma do IAPAR

4 CONCLUSÃO

O Banco de germoplasma de feijão tem em sua composição acessos de diferentes colorações de tegumento e diversos níveis de melhoramento e na avaliação feita para os teores de nutrientes foi possível constatar que os acessos de feijão avaliados apresentaram variabilidade genética para os teores de minerais P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn, Fe, S e teor de proteínas nos grãos, sendo que esse fato pode ser confirmado pela grande amplitude de variação encontrada para todos os nutrientes nos acessos avaliados. Também foi verificado que a composição química dos grãos pode variar em função do local de cultivo.

Devido à variabilidade presente nos acessos avaliados, foi possível identificar acessos com maiores teores minerais P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn, Fe, S e teor de proteínas nos grãos. Esses materiais são promissores candidatos a genitores em programas de melhoramento visando obter cultivares com maior valor nutricional.

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pela concessão da bolsa de estudos, ao Instituto Agronômico do Paraná- IAPAR pelo auxílio na condução dos experimentos e infraestrutura e ao Ministério de Desenvolvimento Social (MDS) pelo auxílio financeiro dado ao projeto IAPAR -BIOFORTA.

REFERÊNCIAS

- AKOND, A. S. et al. Minerals (Zn, Fe, Ca and Mg) and antinutrient (phytic acid) constituents in common beans. **American Journal of Food Technology**, New York, v. 6, n. 3, p. 235-243, 2011.
- ARAÚJO, R. et al. Genotype X environment interactions effects on the iron content of common bean grains. **Crop Breeding Applied Biotechnology**, Londrina, 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* L.) grown in Brurundi. **Food Chemistry**, London, v. 47, n. 2, p. 15-67, 1993.
- BEEBE, S.; GONZALEZ, A. V.; RENGIFO, J. Research on trace minerals in the common bean. **Food and Nutrition Bulletin**, Tokyo, v. 21, n. 4, p. 387-391, 2000.
- BROUGHTON, W. J. et al. Beans (*Phaseolus* spp.): model food legumes. **Plant and Soil**, The Hague, v. 252, n. 1, p. 55-128, 2003.
- BURATTO, J. S. et al. Variabilidade genética e efeito do ambiente para teor de proteína em grãos de feijão. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 4, p. 593-597, 2009.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 2003. 585 p.
- CUZZOLINO, S. M. F. Deficiências minerais. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 21, n. 60, p. 119-126, 2007.
- DALLA CORTE, A. et al. Environment effect on grain quality in early common bean cultivars and lines. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 3, n. 3, p. 193-202, Sept. 2003.
- FERREIRA, D. F. **Estatística básica**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2009. 664 p.
- GHANDILYAN, A.; VREUGDENHIL, D.; AARTS, M. G. M. Progress in the genetic understanding of plant iron and zinc nutrition. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 126, n. 3, p. 407-417, mar. 2006.

- HAUSSMANN, B. I. G. et al. Plant genetic resources in crop improvement. **Plant Genetic Resources**, Cambridge, v. 2, n. 1, p. 3-21, 2004.
- ISLAM, F. M. A. et al. Seed compositional and disease resistance differences among gene pools in cultivated common bean. **Genetic Resources and Crop Evolution**, Dordrecht, v. 49, n. 3, p. 285-293, 2002.
- LAJOLO, F. M.; GENOVESE, M. I.; MENEZES, E. W. Qualidade nutricional. In: ARAUJO, R. S. et al. (Coord.). **Cultura do feijoeiro no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996. p. 71-99.
- LONDERO, P. M. G. et al. Genetic variability for dietary fiber content in common bean populations. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 5, p. 86-90, 2005.
- MIYAZAWA, M. et al. Análises químicas de tecido vegetal. In: SILVA, F. C. (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos/ Embrapa Informática Agropecuária/ Embrapa Comunicação para a transferência de Tecnologia, 1999. p. 171-223.
- MOHAMMADI, S. A.; PRASANNA, B. M. Analysis of genetic diversity in crop plants – Salient statistical tools and considerations. **Crop Science**, Madison, v. 43, n. 4, p. 1235-1248, 2003.
- PINHEIRO, C. et al. Diversity of seed mineral composition of *Phaseolus vulgaris* L. germplasm. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 23, n. 4, p. 319-325, 2010.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna, 2009. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 1 nov. 2009.
- RIBEIRO, N. D. et al. Mineral concentration in the embryo and seed coat of common bean cultivars. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 26, n. 1-2, p. 89-95, 2012.
- RIBEIRO, N. D. Potencial de aumento da qualidade nutricional do feijão por melhoramento genético. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, p. 1367-1376, 2010. Supl. 1.

SILVA, C. A. et al. Genetic variability protein and mineral content in common bean lines (*Phaseolus vulgaris* L.). **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 53, p. 144-145, 2010.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H.; DICKEI, D. A. **Principles of procedures of statistics a biometrical approach**. 3rd ed. Boston: Mc Grow Hill, 1997. 666 p.

WELCH, R. M.; GRAHAM, R. D. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, n. 396, p. 353-364, 2004.

WHITE P. J.; BROADLEY, M. R. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets: iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. **New Phytologist**, Cambridge, v. 182, n. 1, p. 49-84, 2009.

CAPÍTULO 3 Acúmulo de minerais no tegumento, cotilédone e eixo embrionário em cultivares de feijoeiro de diferentes centros de origem

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade genética para acúmulo dos minerais K, P, Ca, Mg, Cu, Zn, B, Mn, Fe e S no tegumento, cotilédone e eixo embrionário, em sementes de cultivares de feijoeiro, pertencentes a diferentes grupos comerciais e de origem Andina e Mesoamericana. As sementes analisadas foram obtidas do experimento conduzido em Londrina - PR, na safra das águas 2007/2008. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. Após a maturação fisiológica dos grãos, as parcelas foram colhidas e assim determinado o rendimento de grãos, peso de 100 sementes e teor de proteína. De cada parcela foi retirada uma amostra de grãos e estas foram armazenadas em câmara fria, onde posteriormente os teores dos minerais K, P, Ca, Mg, Cu, Zn, B, Mn, Fe e S foram quantificados no eixo embrionário, cotilédones e tegumento. Observou-se variabilidade genética para o rendimento de grãos, teor de proteína e peso de 100 sementes entre as cultivares. Foi detectada correlação negativa entre teor de proteína e rendimento de grãos. As cultivares apresentaram variabilidade genética para os teores de K, Ca, Mg, Cu, Mn e Fe. As frações da semente (tegumento, eixo embrionário e cotilédone) apresentaram composição mineral diferenciada. Verificou-se que os minerais K, P, Mg, Cu, Zn, B, Mn, Fe e S encontram-se em maior proporção no cotilédone da semente, exceto o mineral Ca que encontra-se predominantemente no tegumento.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L. Acumulação de minerais. Qualidade nutricional.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the genetic variability for the accumulation of minerals K, P, Ca, Mg, Cu, Zn, B, Mn, Fe and S in the seed coat, cotyledons and embryonic axis, in seeds of common bean cultivars, belonging to different business groups and Andean and Mesoamerican origin. The seeds analyzed were obtained from the experiment carried out in Londrina – PR, in the rainy season 2007/2008. The experimental design used was randomized blocks with four replications. After grains physiological maturity, the plots were harvested and were determined the grain yield, weight of 100 seeds and protein level. From each plot, a sample was taken and these seeds were stored in cold chambers, which subsequently the mineral levels K, P, Ca, Mg, Cu, Zn, B, Mn, Fe and S were quantified in the embryonic axis, cotyledons and seed coat. It was observed genetic variability for grain yield, protein level and weight of 100 seeds among cultivars. Negative correlation was found between protein level and yield of grains. The cultivars showed genetic variability for the protein levels K, Ca, Mg, Cu, Mn and Fe. The seed fractions (seed coat, embryonic axis and cotyledon) showed different mineral composition. It was found that minerals K, P, Mg, Cu, Zn, B, Mn, Fe and S are in a greater proportion of the seed cotyledon, except the mineral Ca that is predominantly found in the seed coat.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L. Mineral accumulation. Nutricional quality.

1 INTRODUÇÃO

Os grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) são considerados uma importante fonte de proteínas e minerais, especialmente ferro para as populações da América Latina, África e outras regiões em desenvolvimento no mundo. A semente de feijão apresenta três principais componentes: tegumento, cotilédones e o eixo embrionário. Na estrutura externa da semente observa-se o tegumento, o hilo, a micrópila e a rafe. O embrião representa a estrutura interna da semente e este componente é constituído pelo o eixo embrionário e os dois cotilédones. O eixo embrionário originará uma nova planta e os cotilédones são os tecidos de reserva nutritiva da semente (SATHE; VENKATACHALAM, 2004). Na semente de feijão o cotilédone representa aproximadamente 90% da massa seca total, o tegumento 9% e o eixo embrionário 1% (DEBOUCK; HIDALGO, 1986). A maioria das sementes maduras das leguminosas apresenta estrutura similar, em que o cotilédone constitui 80 a 90% do peso seco da semente, enquanto que o tegumento pode representar de 8 a 20% e o eixo embrionário de 1 a 2% (SATHE; VENKATACHALAM, 2004).

A presença de variabilidade genética para os teores de minerais foi observada em germoplasma de feijão avaliado no Brasil (ARAÚJO et al., 2003; SILVA et al., 2010; SILVA, 2011) e no exterior (BEEBE; GONZALEZ.; RENGIFO, 2000; PINHEIRO et al., 2010; SANTOS et al., 2010). Entretanto, essas análises foram efetuadas considerando-se a semente inteira e não cada uma das suas partes constituintes.

Informação a respeito da variabilidade genética no acúmulo e distribuição de minerais nas diferentes estruturas de sementes de feijão é importante, uma vez que há evidências de que o tegumento e o embrião diferem na biodisponibilidade de alguns nutrientes minerais essenciais à dieta humana, tal como o ferro (LOMBARDI-BOCCIA et al., 1995). Sabe-se que os nutrientes

estão distribuídos desigualmente nos diversos tecidos de uma mesma planta (BEYER, 2010). Alguns trabalhos quantificaram a variação nos teores de minerais nas diferentes partes constituintes da semente de feijão, e verificou-se variação nos teores de nutrientes minerais no tegumento, cotilédone e no eixo embrionário para ferro (ARIZA-NIETO et al., 2007; CVITANICH et al., 2010; MORAGHAN et al., 2002; RIBEIRO et al., 2012), cálcio e magnésio (MORAGHAN et al., 2006), potássio, zinco e cobre (RIBEIRO et al., 2012).

A distribuição de ferro nas diferentes partes constituintes da semente de feijão pode influenciar o valor de uma cultivar como fonte de ferro na alimentação. A biodisponibilidade de ferro, determinada pela técnica de diálise, foi maior na semente inteira em comparação com a dos cotilédones, devido à maior solubilidade de ferro no tegumento (LOMBARDI-BOCCIA et al., 1995). Portanto, genótipos com sementes que contenham maior proporção relativa de ferro no tegumento podem ser melhores fontes de ferro em relação àqueles cujas sementes tenham relativamente menor proporção de ferro no tegumento (MORAGHAN et al., 2002). É conhecido que alguns fatores antinutricionais como os polifenóis e fitatos podem reduzir a biodisponibilidade de ferro na dieta humana e tem sido relatado que os polifenóis estão localizados no tegumento e os fitatos são encontrados em maior proporção nos cotilédones (ARIZA-NIETO et al., 2007).

Diante do que foi exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade genética para rendimento de grãos, teor de proteína, peso de 100 sementes e o acúmulo dos minerais K, P, Ca, Mg, Cu, Zn, B, Mn, Fe e S no tegumento, cotilédone e eixo embrionário, em sementes de cultivares de feijão, pertencentes a diferentes grupos comerciais e de origem Andina e Mesoamericana.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Dez cultivares de feijão foram avaliadas no presente estudo, sendo cinco de origem mesoamericana: IPR Siriri, IPR Juriti, IPR Uirapuru, IPR Gralha e IAPAR 31 e cinco de origem andina: IPR Garça, Hooter, BRS Radiante, Jalo Precoce e Red Hawk, obtidas por diferentes instituições de pesquisa (Tabela 1). As sementes analisadas foram obtidas do experimento conduzido em Londrina, na safra das águas de 2007/2008. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições e parcelas constituídas por duas fileiras de 4,00 m de comprimento e espaçamento de 0,50 m entre linhas e com densidade de 12 plantas por metro linear. A adubação de base foi efetuada aplicando-se 300 kg.ha⁻¹ do adubo formulado 4-30-10 (N, P₂O₅, K₂O) e no estágio de desenvolvimento V3 foram aplicados em cobertura 200 kg.ha⁻¹ de sulfato de amônio. O controle de pragas, doenças e plantas invasoras foi efetuado segundo as recomendações técnicas para a cultura. Após a maturidade fisiológica (R9), efetuou-se a colheita de cada parcela experimental. A produção de grãos de cada parcela foi transformada para kg.ha⁻¹ e corrigido para 13% de umidade.

Tabela 1 Coloração do tegumento, instituição obtentora ou mantenedora e origem de dez cultivares de feijão utilizadas no experimento conduzido em Londrina – PR durante a safra das águas 2007/2008

Cultivares	Cor do tegumento	Instituição Obtentora ou Mantenedora	Origem do germoplasma
BRS Radiante	Creme com listras vermelhas	Embrapa	Andina
IPR Garça	Branco	Iapar	Andina
Red Hawk	Vermelho	Michigan State University	Andina
IPR Gralha	Preto	Iapar	Mesoamericana
Jalo Precoce	Amarelo	Embrapa	Andina
IPR Siriri	Creme com listras marrom	Iapar	Mesoamericana
IPR Juriti	Creme com listras marrom	Iapar	Mesoamericana
IAPAR 31	Creme c/ pintas marrom	Iapar	Mesoamericana
Hooter	Creme com listras vermelhas	Monsoy Ltda.	Andina
IPR Uirapuru	Preto	Iapar	Mesoamericana

Para posterior análise dos teores de minerais e proteínas nos grãos, de cada parcela experimental foi retirada uma amostra de 1.000 sementes sem danos físicos ou danos causados por insetos e livre de doenças, as quais foram armazenadas em câmara fria com temperatura de 5,6°C e 33% de umidade. Para a análise dos teores de minerais e proteína, as amostras de sementes foram lavadas inicialmente com água de torneira e depois com água destilada, para evitar a contaminação por partículas de solo que porventura estivessem aderidas às sementes. Posteriormente, as sementes de cada amostra foram colocadas em um *becker* contendo um litro de água destilada e após uma hora de embebição, deu-se início ao dessecamento, para separação do tegumento, cotilédone e eixo embrionário. Em seguida, cada uma das partes das sementes foi seca em estufa a 60°C por 48h e posteriormente trituradas em moinho e a farinha obtida foi acondicionada em recipiente de vidro.

O teor de proteína foi quantificado por espectrofotometria pelo método de Kjeldahl, como descrito por Miyazawa et al. (1999). Inicialmente foi realizada a leitura de N no espectrofotômetro UV-VIS, marca comercial Varian. Utilizou-se o fator 6,25 para converter o nitrogênio total da semente em proteína bruta ($N \times 6,25$), e posteriormente corrigido para base seca. Para a determinação dos teores dos minerais K, P, Ca, Mg, Cu, Zn, B, Mn, Fe e S foi utilizada a metodologia descrita por Miyazawa et al. (1999), que consiste na digestão nitroperclórica com a solução de $HNO_3:HClO_4$, na proporção 3:1 de 0,4g da farinha de cada amostra em um tubo digestor de 80ml. Os minerais foram determinados em espectrofotômetro de emissão atômica (ICP), Thermo Jarrel Ash ICAP 61E.

Os dados obtidos referentes ao rendimento de grãos, proteína total e peso de 100 sementes foram submetidos à análise de variância utilizando o seguinte modelo matemático: $Y_{ij} = m + c_i + b_j + e_{ij}$, em que Y_{ij} = é valor observado na parcela com a cultivar i no bloco j ; m = média geral; c_i = efeito de

cultivar, em que $i = 1, 2, \dots, 10$; b_j = efeito de bloco, sendo $j = 1, 2, 3, 4$; e_{ij} = erro experimental. Para análise dos teores de minerais foi considerado o seguinte modelo matemático: $Y_{ijk} = m + b_k + c_i + (cb)_{ik} + t_j + (ct)_{ij} + e_{ijk}$, em que: Y_{ijk} = é o valor observado na parcela experimental que recebeu o nível i do fator cultivar e o nível j do fator tecido no bloco k ; m = média geral; b_k = efeito de bloco, em que $k = 1, 2, 3, 4$; c_i = efeito da cultivar, em nível de parcela, em que $i = 1, 2, \dots, 10$; $(cb)_{ik}$ = erro em nível de parcelas (Interação cultivar x bloco) (erro a); t_j = efeito do tecido em nível de subparcela, em que $j = 1, 2, 3$; $(ct)_{ij}$ = efeito da interação cultivar x tecido; e_{ijk} = erro experimental em nível de subparcelas (erro b).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são apresentados os resumos das análises de variância para peso de 100 sementes (P100), rendimento médio de grãos (Rend.) e teor de proteína (Prot.). Para essas características foram observados efeitos significativos de cultivares ($p < 0,01$), pelo teste F, indicando que existem diferenças genéticas entre as cultivares avaliadas. Os coeficientes de variação ambiental (CVe) estimados para P100, Rend. e Prot. foram de 12,32%, 11,27% e 9,58%, respectivamente, sendo considerados baixos e indicando boa precisão experimental. Para essas características pode-se inferir que as variações observadas entre as cultivares é devido, em maior parte, aos efeitos genéticos, uma vez que as estimativas dos CVg são superiores aos CVe, tornando o índice B (CVg/CVe) maior que 1, sugerindo sucesso na seleção de cultivares para essas características (Tabela 2).

Tabela 2 Análise de variância, coeficiente de variação ambiental (CVe), coeficiente de variação genético (CVg), índice B (CVg/CVe) e coeficiente de determinação genotípica (h^2) para peso de 100 sementes (P100), rendimento médio de grãos (Rend.) e teor de proteína (Prot.) avaliados em dez cultivares de feijão no experimento conduzido em Londrina – PR, safra das águas 2007/2008

FV.	GL	P100	Rend.	Prot.
		QM	QM	QM
Bloco	3	28,36	146949,1	8,051
Cultivar	9	609,0**	889833,1**	14,60**
Resíduo	27	22,36	97008,08	2,90
CVe (%)		12,32	11,27	9,58
CVg (%)		31,72	16,12	9,62
Índice B		2,574	1,42	1,00
h^2		96,36	89,09	80,11

** significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

O P100 variou de 24,8g a 58,3g, no entanto a amplitude de variação para o peso de 100 sementes em genótipos de feijão pode ser maior, podendo variar

de 20 a 100g (GEPTS; DEBOUCK, 1991). De acordo com o teste de Scott e Knott observa-se a formação de quatro grupos para esta característica, em que os menores valores foram verificados em cultivares de feijão do gene *pool* mesoamericano, cujos grãos pertencem aos grupos comerciais carioca e preto. O maior P100 foi observado na cultivar IPR Garça (58,3g), seguido das cultivares BRS Radiante, Hooter e a Red Hawk (Tabela 3). Feijões de origem andina são caracterizados por possuírem grãos grandes, enquanto que os mesoamericanos são sementes pequenas (GEPTS; DEBOUCK, 1991).

Para rendimento de grãos, o teste de Scott e Knott agrupou as cultivares em três classes, sendo que as cultivares BRS Radiante, IPR Siriri e IPR Juriti estão inseridas no grupo com os maiores rendimento de grãos (Tabela 3).

Tabela 3 Médias para peso de 100 sementes (P100), rendimento médio de grãos (Rend.) e teor de proteína (Prot.) avaliada em dez cultivares de feijão no experimento conduzido em Londrina – PR, safra das águas 2007/2008

Cultivares	P100 (gramas) ^{/1}	Rend. (kg.ha ⁻¹) ^{/1}	Prot. (%) ^{/1}
BRS Radiante	48,8 b	3.388 a	16,4 b
IPR Garça	58,3 a	2.720 b	16,9 b
Red Hawk	48,3 b	2.129 c	20,4 a
IPR Gralha	24,8 d	2.613 b	16,7 b
Jalo Precoce	41,0 c	2.519 b	21,3 a
IPR Siriri	25,8 d	3.444 a	17,3 b
IPR Juriti	31,3 d	3.164 a	17,2 b
IAPAR 31	26,3 d	2.737 b	14,9 b
Hooter	49,3 b	2.061 c	19,0 a
IPR Uirapuru	28,3 d	2.853 b	17,9 b
Média	38,17	2762,65	17,7

^{/1}Médias seguidas pela mesma letra pertencem ao mesmo grupo. Teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade.

O teor médio de proteína total variou de 14,9% (cv. IAPAR 81) a 21,3% (cv. Jalo Precoce) (Tabela 3). Essa amplitude de variação esta dentro daquela citada por Guzman-Maldonado e Parede-Lopez (1998), em que o teor de

proteína nos grãos de feijão pode variar de 16 a 33%. As cultivares que apresentaram maiores teores médio de proteína foram Jalo Precoce, Red Hawk e Hooter, todas do gene *pool* andino.

Verificou-se que as cultivares com os maiores rendimentos de grãos apresentaram os menores teores de proteína total. Esse é o caso das cultivares IPR Juriti, IPR Siriri e BRS Radiante. A cultivar Jalo Precoce apresentou baixo rendimento de grãos, porém alto teor proteico quando comparado com as demais cultivares. A estimativa do coeficiente de correlação fenotípica para o teor de proteína e rendimento de grãos foi negativa e significativa e isso revela uma dificuldade na seleção simultânea de cultivares produtivas e com altos teores de proteína (Tabela 4). Correlações negativas entre rendimento e teor de proteína nos grãos também foram observadas em estudos para outras espécies de leguminosas, como a soja, por exemplo (BONATO et al., 2000).

Tabela 4 Estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson para as características rendimento médio de grãos (Rend), teor de proteína (Prot) e peso de 100 sementes (P100), avaliados em dez cultivares de feijão no experimento conduzido em Londrina – PR durante a safra das águas 2007/2008

	Rend	Prot	P100
Rend	1	-0,3738*	-0,2396 ^{ns}
Prot		1	0,1978 ^{ns}
P100			1

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

Na Tabela 5 são apresentados os resumos das análises de variância e estimativas dos parâmetros genéticos para os teores de dez minerais avaliados em diferentes tecidos de sementes de feijão em dez cultivares, pertencentes aos centros de origem mesoamericano e andino. O efeito de cultivar foi significativo ($p < 0,01$), pelo teste F, para K, Ca, Mg, Cu e Fe, indicando a presença de variabilidade genética entre as cultivares avaliadas. Para os minerais P, Zn, B, Mn e S não foi detectado efeito significativo dentro do grupo de cultivares

avaliadas neste estudo. Presença de variabilidade genética já tem sido observada para os minerais Fe (ARAUJO et al., 2003; CVITANICH et al., 2010), Zn (ROSA et al., 2010), Ca (JOST et al., 2009; MORAGHAN et al., 2006), Mg (MORAGHAN et al., 2006), P (POERCH et al., 2011) em sementes de cultivares e linhagens de feijão.

Os teores dos dez minerais foram avaliados em três partes distintas da semente de feijão (cotilédone, eixo embrionário e tegumento). O efeito de tecidos foi significativo ($p < 0,01$), pelo teste F para todos os minerais avaliados, e o efeito das interações Cultivares x Tecidos (C x T) também foram significativos ($p < 0,05$) para a maioria dos minerais avaliados (Tabela 5). Para aqueles minerais que apresentaram interação C x T significativa, esse resultado indica que o teor de minerais pode variar em função do tecido e da cultivar. A diferença nos teores de minerais observadas entre cotilédone, eixo embrionário e tegumento na semente de feijão era esperada, pois conforme menciona Beyer (2010) as plantas apresentam distribuição desigual dos nutrientes em seus diferentes tecidos.

Tabela 5 Análise de variância, coeficiente de variação ambiental associado ao erro a (CVa) e coeficiente de variação ambiental associado ao erro b (CVb) para teores de minerais avaliados em amostras de sementes de dez cultivares de feijão oriundas do experimento conduzido em Londrina – PR, safra das águas 2007/2008

FV	GL	K	P	Ca	Mg	Cu	Zn	B	Mn	Fe	S
		F ^{/1}	F ^{/1}	F ^{/1}	F ^{/1}	F ^{/1}	F ^{/1}	F ^{/1}	F ^{/1}	F ^{/1}	F ^{/1}
Bloco	3										
Cultivar (C)	9	**	ns	**	**	**	ns	ns	ns	**	ns
Erro a	27										
Tecido (T)	2	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
C x T	18	**	ns	**	**	*	**	*	*	**	ns
Erro b	60										
Total	119										
CVa (%)		6,62	13,95	21,96	9,08	13,17	12,30	26,21	22,95	14,88	34,60
CVb (%)		8,48	19,91	22,69	11,22	13,43	11,90	42,50	15,72	15,47	35,45

^{/1} **/* significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente; ns: não significativo. Teste F.

A quantidade de cada mineral (K, P, Mg, Ca, Cu, Zn, B, Mn e Fe) em 1000g de cada uma das frações da semente (cotilédone, eixo embrionário e tegumento) é apresentada na Tabela 6. De acordo com o teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade, o eixo embrionário apresentou o maior teor de P, Cu, Zn, B e Fe. Com relação ao teor de Fe, as cultivares IPR Gralha, IPR Juriti e IPR Uirapuru, apresentaram maior concentração desse mineral no tegumento. No cotilédone foi observado maior teor de K e S para todas as cultivares avaliadas. O mineral Mn apresenta teor semelhante no eixo embrionário e no cotilédone. No tegumento são encontrados os maiores teores de Ca e Mg (Tabela 6).

Tabela 6 Médias para os teores de nove minerais avaliados em três tecidos da semente, cotilédone (C), eixo embrionário (E) e tegumento (T) em amostras de sementes de dez cultivares de feijão do ensaio conduzido em Londrina – PR na safra das águas 2007/2008

Cultivar	Teor de K (g de mineral. kg ⁻¹ do tecido)								
	C			E			T		
Red Hawk	0,168	a	A	0,118	a	B	0,040	c	C
IPR Garça	0,160	a	A	0,130	a	B	0,080	a	C
Hooter	0,160	a	A	0,135	a	B	0,048	b	C
IAPAR 31	0,160	a	A	0,125	a	B	0,048	b	C
IPR Gralha	0,155	a	A	0,133	a	B	0,058	b	C
IPR Juriti	0,153	a	A	0,120	a	B	0,038	c	C
IPR Siriri	0,168	a	A	0,125	a	B	0,038	c	C
IPR Uirapuru	0,138	b	A	0,120	a	B	0,050	b	C
Jalo Precoce	0,160	a	A	0,120	a	B	0,043	c	C
BRS Radiante	0,143	b	A	0,125	a	B	0,035	c	C

Cultivar	Teor de P (g de mineral. Kg ⁻¹ do tecido)								
	C			E			T		
Red Hawk	2,90	a	B	14,72	a	A	0,19	a	C
IPR Garça	2,64	a	B	13,05	a	A	0,21	a	C
Hooter	2,80	a	B	14,95	a	A	0,18	a	C
IAPAR 31	2,89	a	B	14,54	a	A	0,25	a	C
IPR Gralha	2,91	a	B	13,68	a	A	0,32	a	C
IPR Juriti	2,89	a	B	13,67	a	A	0,31	a	C
IPR Siriri	2,96	a	B	14,7	a	A	0,19	a	C
IPR Uirapuru	3,10	a	B	14,23	a	A	0,24	a	C
Jalo Precoce	3,13	a	B	13,9	a	A	0,18	a	C
BRS Radiante	2,49	a	B	15,18	a	A	0,19	a	C

“continua”

Tabela 6 “continuação”

Cultivar	Teor de Ca (g de mineral. kg ⁻¹ do tecido)								
	C			E			T		
Red Hawk	0,15	a	B	0,34	a	B	3,98	d	A
IPR Garça	0,20	a	B	0,47	a	B	5,61	b	A
Hooter	0,20	a	B	0,42	a	B	4,75	c	A
IAPAR 31	0,20	a	B	0,38	a	B	7,46	A	A
IPR Gralha	0,17	a	B	0,41	a	B	6,11	b	A
IPR Juriti	0,20	a	B	0,43	a	B	6,23	b	A
IPR Siriri	0,23	a	B	0,46	a	B	6,51	b	A
IPR Uirapuru	0,22	a	B	0,42	a	B	7,07	a	A
Jalo Precoce	0,16	a	B	0,34	a	B	3,94	d	A
BRS Radiante	0,18	a	B	0,39	a	B	4,59	c	A
Cultivar	Teor de Mg (g de mineral. kg ⁻¹ do tecido)								
	C			E			T		
Red Hawk	1,015	b	C	1,69	a	B	2,50	a	A
IPR Garça	1,200	a	B	2,05	a	A	2,28	b	A
Hooter	1,188	a	C	1,70	a	B	2,53	a	A
IAPAR 31	1,268	a	C	1,80	a	B	2,52	a	A
IPR Gralha	1,368	a	B	1,89	a	A	2,11	b	A
IPR Juriti	1,313	a	C	1,87	a	B	2,51	a	A
IPR Siriri	1,353	a	C	2,00	a	B	2,37	b	A
IPR Uirapuru	1,325	a	C	1,78	a	B	2,32	b	A
Jalo Precoce	1,035	b	C	1,35	b	B	2,32	b	A
BRS Radiante	1,068	b	C	1,70	a	B	2,50	a	A
Cultivar	Teor de Cu (mg de mineral. kg ⁻¹ do tecido)								
	C			E			T		
Red Hawk	9,6	a	B	21,0	a	A	5,9	a	C
IPR Garça	8,4	a	B	17,4	c	A	6,7	a	B
Hooter	8,9	a	B	18,7	b	A	6,4	a	C
IAPAR 31	7,5	a	B	15,2	d	A	5,1	a	C
IPR Gralha	11,2	a	B	22,3	a	A	6,1	a	C
IPR Juriti	10,0	a	B	19,1	b	A	4,1	a	C
IPR Siriri	9,2	a	B	19,0	b	A	5,1	a	C
IPR Uirapuru	10,4	a	B	20,6	a	A	5,4	a	C
Jalo Precoce	10,1	a	B	18,7	b	A	6,1	a	C
BRS Radiante	9,1	a	B	19,5	b	A	6,0	a	C

“continua”

Tabela 6 “continuação”

Cultivar	Teor de Zn (mg de mineral. kg ⁻¹ do tecido)								
	C			E			T		
Red Hawk	21,0	a	C	65	c	A	34	a	B
IPR Garça	18,0	a	C	73	b	A	26	b	B
Hooter	20,6	a	C	68	c	A	28	b	B
IAPAR 31	23,5	a	B	85	a	A	12	c	C
IPR Gralha	24,9	a	B	80	a	A	11	c	C
IPR Juriti	23,6	a	B	81	a	A	12	c	C
IPR Siriri	24,2	a	B	80	a	A	12	c	C
IPR Uirapuru	25,8	a	B	75	b	A	10	c	C
Jalo Precoce	23,6	a	B	63	c	A	23	b	B
BRS Radiante	17,8	a	C	66	c	A	32	a	B
Cultivar	Teor de B (mg de mineral. kg ⁻¹ do tecido)								
	C			E			T		
Red Hawk	6,3	a	B	33,2	a	A	11,2	a	B
IPR Garça	6,5	a	B	27,1	b	A	12,6	a	B
Hooter	6,3	a	B	35,8	a	A	11,3	a	B
IAPAR 31	6,2	a	B	27,4	b	A	10,0	a	B
IPR Gralha	6,5	a	B	29,8	b	A	11,4	a	B
IPR Juriti	6,9	a	B	23,5	b	A	10,8	a	B
IPR Siriri	6,8	a	B	36,3	a	A	9,3	a	B
IPR Uirapuru	7,2	a	B	30,3	b	A	11,4	a	B
Jalo Precoce	6,0	a	B	32,7	a	A	11,6	a	B
BRS Radiante	6,0	a	B	36,0	a	A	11,5	a	B
Cultivar	Teor de Mn (mg de mineral. kg ⁻¹ do tecido)								
	C			E			T		
Red Hawk	11,0	b	B	14,8	a	A	4,17	a	C
IPR Garça	14,4	b	A	16,0	a	A	4,78	a	B
Hooter	13,7	b	A	15,9	a	A	5,38	a	B
IAPAR 31	17,6	a	A	16,9	a	A	4,89	a	B
IPR Gralha	14,6	b	A	16,1	a	A	4,07	a	B
IPR Juriti	13,2	b	A	15,1	a	A	3,60	a	B
IPR Siriri	18,6	a	A	16,8	a	A	3,41	a	B
IPR Uirapuru	17,7	a	A	17,2	a	A	4,67	a	B
Jalo Precoce	12,3	b	B	16,1	a	A	4,35	a	C
BRS Radiante	12,5	b	A	15,3	a	A	3,71	a	B

“continua”

Tabela 6 “continuação”

Cultivar	Teor de Fe (mg de mineral. kg ⁻¹ do tecido)								
	C			E			T		
Red Hawk	34,26	a	C	95	b	A	60	e	B
IPR Garça	35,98	a	C	107	b	A	64	e	B
Hooter	41,65	a	B	107	b	A	47	e	B
IAPAR 31	34,93	a	C	104	b	A	81	d	B
IPR Gralha	33,69	a	C	117	b	B	144	a	A
IPR Juriti	39,65	a	B	110	b	A	100	c	A
IPR Siriri	37,74	a	C	115	b	A	75	d	B
IPR Uirapuru	39,69	a	B	131	a	A	119	b	A
Jalo Precoce	42,17	a	C	128	a	A	61	e	B
BRS Radiante	35,78	a	C	110	b	A	56	e	B

Cultivar	Teor de S (g de mineral. kg ⁻¹ do tecido)								
	C			E			T		
Red Hawk	2,85	a	A	1,16	b	B	0,69	a	B
IPR Garça	2,65	a	A	2,60	a	A	0,74	a	B
Hooter	2,89	a	A	1,18	b	B	0,56	a	B
IAPAR 31	2,88	a	A	1,18	b	B	0,97	a	B
IPR Gralha	2,86	a	A	1,16	b	B	1,00	a	B
IPR Juriti	2,85	a	A	1,10	b	B	0,64	a	B
IPR Siriri	3,02	a	A	1,15	b	B	0,79	a	B
IPR Uirapuru	3,12	a	A	1,13	b	B	0,84	a	B
Jalo Precoce	3,22	a	A	1,10	b	B	0,57	a	B
BRS Radiante	2,51	a	A	1,12	b	B	0,59	a	B

Valores seguidos pela mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal pertencem ao mesmo grupo. Teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade.

A proporção dos tecidos da semente avaliados em dez cultivares pode ser observada na Tabela 7. Na semente o tegumento representa em média 8,5% do total do peso seco, o cotilédone corresponde por 90,3% e o eixo embrionário por 1,2%. Os valores encontrados são próximos aos encontrados Ariza-Nieto et al. (2007). Entre as dez cultivares avaliadas observou-se que a proporção que o cotilédone ocupa no peso seco total da semente varia de 88,5% a 90,9%, enquanto que para o eixo embrionário foi observado uma variação de 1,1% a 1,6%. Sabe-se que a espessura do tegumento é muito variável e depende do tipo de feijão, neste estudo verificou-se que o tegumento responde por 7,7% (IAPAR 31) a 10,4% (Hooter) do peso seco total da semente. Nos oito genótipos

avaliados por Ariza-Nieto et al. (2007) foi verificado que o cotilédone representou 88 a 91% do peso da semente do feijão, o eixo embrionário 0,6 a 1,8% e o tegumento 7,6 a 9,7% do peso total da semente.

Tabela 7 Porcentagem de cotilédone, eixo embrionário e tegumento em relação à massa seca total da semente avaliadas em amostras de sementes de dez cultivares de feijão oriundas do ensaio conduzido em Londrina – PR, safras das águas 2007/2008

Cultivares	Cotilédone (%)	Eixo Embrionário (%)	Tegumento (%)
BRS Radiante	90,9	1,1	8,0
IPR Garça	90,7	1,1	8,2
Red Hawk	90,2	1,1	8,7
IPR Gralha	89,5	1,6	8,9
Jalo Precoce	90,4	1,1	8,5
IPR Siriri	90,8	1,4	7,8
IPR Juriti	90,6	1,4	8,0
IAPAR 31	90,9	1,4	7,7
Hooter	88,5	1,1	10,4
IPR Uirapuru	90,1	1,4	8,5
Média	90,3	1,2	8,5

A proporção dos minerais nas diferentes frações da semente precisa ser levada em consideração no valor nutricional dos grãos processados, pois se ocorrer a remoção do tegumento durante o cozimento, os nutrientes minerais que estão presentes em maior proporção nessa fração poderá ser reduzido. Pode ser observado na Figura 1, que ocorreu acumulação diferenciada dos minerais nos tecidos da semente, em que a maior porcentagem dos minerais K, P, Mg, Cu, Zn, B, Mn e Fe são encontrados no cotilédone, exceto o mineral Ca que é presente em maior proporção no tegumento da semente.

Entre as cultivares avaliadas o teor de K no embrião da semente apresentou pequena variação. Porém no eixo embrionário as cultivares diferiram entre si, em que IPR Garça apresentou maior teor nessa fração (Tabela 6). Na semente observa-se que em média 96,2% do K encontram-se no cotilédone, 2,8% no tegumento e 1,1% no eixo embrionário (Figura 1).

Entre as cultivares não foi verificada diferença estatística para o teor de P, porém, entre os diferentes tecidos pode ser observada diferença significativa ($p < 0,01$), (Tabela 5). O maior teor de P é visto no eixo embrionário, seguido do cotilédone e tegumento (Tabela 6). Com relação à proporção de P na semente, observa-se que no cotilédone foi encontrado em média 92,8% do total de P da semente (Figura 1). O P é armazenado na semente predominantemente na forma de ácido fítico ou fitato, e essas substâncias são consideradas como fatores antinutricionais devido à sua capacidade de se ligar a outros minerais e nutrientes alterando a sua digestibilidade e absorção no organismo humano. O fitato ou ácido fítico representam de 65 a 85% do total de fósforo da semente (REDDY et al., 1989).

No tegumento foi encontrada a maior parte do Ca presente na semente (Figura 1). A porcentagem de Ca no tegumento nas cultivares avaliadas neste estudo variou de 68,9% a 77,6% (Figura 4). Devido à maior porcentagem de Ca no tegumento é esperado que o efeito materno fosse significativo, pois sendo o tegumento de origem materna é possível que o genótipo da planta-mãe influencie o fenótipo dos seus descendentes. No estudo feito por Jost et al. (2009) foi detectado efeito materno significativo para essa característica. A porcentagem de Ca no tegumento dos genótipos avaliados por Moraghan et al. (2006) apresentaram uma variação de 67% a 81%. Moraghan e Grafton (2002) encontraram valores de 84% de Ca no tegumento. Na avaliação feita por Ribeiro et al. (2012) a proporção do Ca no tegumento foi maior, e a variação encontrada nas cultivares foi de 94,5% a 96,8%.

No organismo humano o magnésio está estreitamente relacionado com o cálcio por participar de numerosas funções fisiológicas. Neste trabalho observa-se que o do total de Mg encontrado na semente, é observado que em média 82,8% desse mineral é encontrado nos cotilédones, e que em média 15,5% do Mg está no tegumento, esse fato pode ser observado na Figura 1. Neste trabalho

a porcentagem magnésio no tegumento das cultivares variou de 12,8% a 19,7% (Figura 5). Moraghan et al. (2002) encontraram variação de 14% a 17%, mas o percentual de magnésio no tegumento de feijão pode ser maior, chegando até a 28% (MORAGHAN et al., 2006).

Para o mineral Cu, quando é avaliado o teor desse mineral, isto é, a quantidade em mg de Cu por 1000g de tecido na Tabela 6, observa-se que o maior teor de Cu é observado no eixo embrionário, seguido pelo cotilédone e tegumento que não diferiram pelo teste de Scott e Knott. Em relação à maneira de que como o Cu está distribuída em porcentagem na semente (Figura 1), verifica-se que em média 92,1% do total de Cu encontra-se no cotilédone.

O zinco nas sementes das cultivares encontra-se em média em maior proporção nos cotilédones nas sementes (Figura 1 e Figura 7), porém quando é mencionado o teor desse mineral, isto é, mg de zinco por quilograma de matéria seca do tecido, o maior teor é verificado no eixo embrionário (Tabela 7). A importância do zinco na alimentação humana é devido à sua participação de processos fisiológicos como a divisão e morte celular, expressão gênica e função imune e do desenvolvimento cognitivo (MAFRA; COZZOLINO, 2004).

Observa-se que os minerais B, Mn e S são encontrados em maior porcentagem nos cotilédones das sementes (Figura 1, Figura 8, Figura 9 e Figura 11). Quando foram analisados os teores desses minerais (Tabela 6), verifica-se que entre as cultivares foi detectada diferença estatística dentro cotilédone para Mn. No entanto, não foi observado o mesmo resultado para B e S (Tabela 6).

A acumulação de Fe foi diferenciada nas frações da semente, onde foi observado que em média 80,7% do ferro estavam no cotilédone, 3,4% no eixo embrionário e 15,9% no tegumento (Figura 1). Cvitanich et al. (2010) verificaram que o teor de Fe nos genótipos variou de 80 a 96% nos cotilédones, 1 a 2% no eixo embrionário e 2 a 18% no tegumento. Em sementes de cultivares de feijão avaliadas por Ariza-Nieto et al. (2007) verificaram que o tegumento

das sementes representam de 8 a 10% do peso seco da semente e 4 a 26% do ferro encontrada na semente foi encontrada no tegumento.

Entre as cultivares avaliadas neste estudo a proporção de Fe no tegumento variou de 11,4% a 28,5% (Figura 10). Observa-se que as cultivares do grupo preto IPR Gralha e IPR Uirapuru e IPR Juriti do grupo carioca apresentaram maiores proporções desse mineral no tegumento com 28,5%, 21,3% e 17,5%, respectivamente (Figura 10). Moraghan e Grafton (2002) relataram que a porcentagem de Fe no tegumento apresentou significativa variação entre os genótipos de feijão comum, em que, por exemplo, a cultivar UI-911 tem maior acumulação de ferro no tegumento que a cultivar T39.

No que se refere à qualidade dos grãos de feijão como fonte de Fe para a dieta humana, deve-se considerar a presença de fatores antinutricionais que reduzem a biodisponibilidade desse mineral. Contudo, existem outros fatores que podem aumentar a biodisponibilidade de ferro, Ariza-Nieto et al. (2007) verificaram que a adição de ascorbato aumenta a biodisponibilidade de ferro no cotilédone.

A variabilidade da proporção de Fe encontrada no tegumento e embrião da semente pode influenciar a disponibilidade de ferro para o desenvolvimento da plântula. O Fe presente no embrião é diretamente disponível para o crescimento da plântula, enquanto que o mineral presente na casca pode ser menos disponível para o crescimento inicial da plântula (MORAGHAN et al., 2002).

Os diferentes tecidos das plantas apresentam composição química distinta (BEYER, 2010) e esse fato pode ser verificado neste trabalho onde as frações da semente de feijão estudadas (cotilédone, eixo embrionário e tegumento) apresentam composição mineral diferenciadas. Esse fato tem implicação direta em um programa de melhoramento, pois se um dado nutriente mineral é observado em maior proporção no tegumento isso pode indicar a

presença de efeito materno que é o caso de herança, controlado pelos genes nucleares da mãe. No caso do feijão, o tegumento é de origem materna e os cotilédones são produtos da fecundação (RAMALHO; SANTOS; PINTO, 2000).

Outra implicação do ponto de vista agrônômico da composição mineral diferenciada entre as frações da semente é que durante o estabelecimento da planta os nutrientes são fornecidos em parte pela reserva da semente e em parte pelo solo. Cultivares cujas sementes apresentam altos níveis de nutrientes minerais são importantes, especialmente em solos que apresentam baixa fertilidade e reduzida disponibilidade de nutrientes (ASCHER-ELLIS et al., 2001). Então, a identificação e seleção daquelas linhagens ou cultivares que apresentam maiores conteúdos de nutrientes minerais nos cotilédones poderão selecionar simultaneamente para o maior desenvolvimento nos estádios iniciais do ciclo fenológico da cultura.

4 CONCLUSÃO

Detectou-se a presença de variabilidade genética para teor de proteína total e rendimento de grãos, evidenciando a possibilidade de seleção de cultivares com maior potencial produtivo e também de cultivares com maior teor de proteína, entretanto essas características são correlacionadas negativamente.

As cultivares pertencentes ao gene *pool* andino (Red Hawk, IPR Garça, Jalo Precoce e BRS Radiante) apresentaram maior teor de proteína nos grãos, sendo que para teores de minerais não foram observadas diferenças entre as cultivares relacionadas aos centros de origem.

As diferentes estruturas das sementes, tegumento, cotilédone e eixo embrionário, apresentam composição mineral distinta. Foi observado que 8,5% do peso seco da semente são compostos pelo tegumento, 90,3% cotilédone e 1,2% embrião.

Quanto aos teores, isto é quantidade do mineral em 1000g de tecido, observou-se que em média o Ca e Mg encontra-se em maior teor no tegumento, K e S nos cotilédones e os outros minerais P, Cu, Zn, B, Fe apresentaram em maior teor no eixo embrionário. Para o Mn os cotilédones e eixo embrionário apresentaram maior teor desse mineral.

Com relação à distribuição dos minerais nas três frações da semente avaliada (cotilédone, eixo embrionário e tegumento), pode ser verificado que em média 72,5% do total do mineral Ca encontra-se no tegumento. No entanto, o restante dos minerais (K, P, Mg, Cu, Zn, B, Mn, Fe e S) são encontrados em maior parte no cotilédone da semente.

Entre as cultivares estudadas não foram observadas diferenças expressivas para os minerais analisados dentro das estruturas analisadas, exceto para Fe, em que as cultivares IPR Galha e IPR Uirapuru do grupo preto, e IPR

Juriti do grupo carioca destacaram-se das demais por apresentar maior teor desse mineral no tegumento.

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pela concessão da bolsa de estudos, ao Instituto Agronômico do Paraná-IAPAR pelo auxílio na condução dos experimentos e infraestrutura e ao Ministério de Desenvolvimento Social (MDS) pelo auxílio financeiro dado ao projeto IAPAR -BIOFORTA.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, R. et al. Genotype x environment interaction effects on the iron content of common beans grains. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 3, n. 4, p. 269-274, 2003.
- ARIZA-NIETO, M. et al. Screening of iron bioavailability patterns in eight bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes using the Caco-2 cell in vitro model. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 55, n. 19, p. 7950-7956, 2007.
- ASCHER-ELLIS, J. S. et al. Micronutrients. In: REYNOLDS, M. P. et al. (Ed.). **Application of physiology in wheat breeding**. Mexico: CIMMYT, 2001. p. 219-240.
- BEEBE, S.; GONZALEZ, A. V.; RENGIFO, J. Research on trace minerals in the common bean. **Food and Nutrition Bulletin**, Tokyo, v. 21, n. 4, p. 387-391, 2000.
- BEYER, P. Golden rice and 'Golden' crops for human nutrition. **New Biotechnology**, Oxford, v. 27, n. 5, p. 478-481, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871678410004450>>. Acesso em: 10 nov. 2011.
- BONATO, E. R. et al. Teor de óleo e de proteína em genótipos de soja desenvolvidos após 1990. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 12, p. 2391-2398, 2000.
- CVITANICH, C. et al. Iron and ferritin accumulates in separate cellular locations in *Phaseolus* seeds. **Plant Biology**, Stuttgart, v. 10, n. 26, p. 1-14, 2010.
- DEBOUCK, D.; HIDALGO, R. **Morfology of the common bean plant**. Cali: CIAT, 1986. 56 p.
- GEPTS, P.; DEBOUCK, D. G. Origin, domestication, and evolution of the common bean, *Phaseolus vulgaris*. In: SCHOONHOVEN, A. VAN; VOYSEST, O. (Ed.). **Common beans: research for crop improvement**. Cali: CIAT, 1991. p. 7-53.

GUZMAN-MALDONADO, S. H.; PAREDE-LOPEZ, O. Functional products of plants indigenous to Latin America: amaranth, quinoa, common beans and botanicals. In: MAZZA, G. (ed.) **Functional foods: biochemical e processing aspects**. New York: Chapman and Hall, 1998. p. 293-328.

JOST, E. et al. Efeitos gênicos do teor de cálcio em grãos de feijão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 31-37, 2009.

LOMBARDI-BOCCIA, G. et al. Impact of processing on Fe dialysability from bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Chemistry**, London, v. 53, p. 191-195, 1995.

MAFRA, D.; COZZOLINO, S. M. F. Importância do zinco na nutrição humana. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 17, n. 1, p. 79-87, 2004.

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

MIYAZAWA, M. et al. Análises químicas de tecido vegetal. In: SILVA, F. C. (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos/ Embrapa Informática Agropecuária/ Embrapa Comunicação para a transferência de Tecnologia, 1999. p. 171-223.

MORAGHAN, J. T. et al. Contrasting accumulations of calcium and magnesium in seed coats and embryos of common bean and soybean. **Food Chemistry**, London, v. 95, n. 4, p. 554-561, 2006.

MORAGHAN, J. T. et al. Iron accumulation in seed of common bean. **Plant and Soil**, The Hague, v. 246, n. 2, p.175-183, 2002.

MORAGHAN, J. T.; GRAFTON, K. Distribution of selected elements between the seed coat and embryo of two black bean cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 25, n. 1, p. 169-176, 2002.

POERCH, N. L. et al. Genetic control of potassium content of common bean seeds. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 6, p. 626-632, 2011.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; PINTO, C. A. B. P. **Genética na agropecuária**. Lavras: UFLA, 2000. 472 p.

REDDY, N. R. et al. **Phytates in cereals and legumes**. Boca Raton: CRC, 1989. 152 p.

RIBEIRO, N. D. et al. Mineral concentration in the embryo and seed coat of common bean cultivars. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 26, n. 1-2, p. 89-95, 2012.

SANTOS, S. C. et al. Multivariate characterization of bean varieties according to yield production mineral and phenolic contents. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 21, n. 10, p. 1917-1922, 2010.

SATHE, S. K.; VENKATACHALAM, M. Bean. In: WRIGLEY, C.; CORKE, H.; WALKER, C. E. **Encyclopedia of grain science**. St. Louis: Elsevier, 2004. v. 1, p. 76-86.

ANEXO

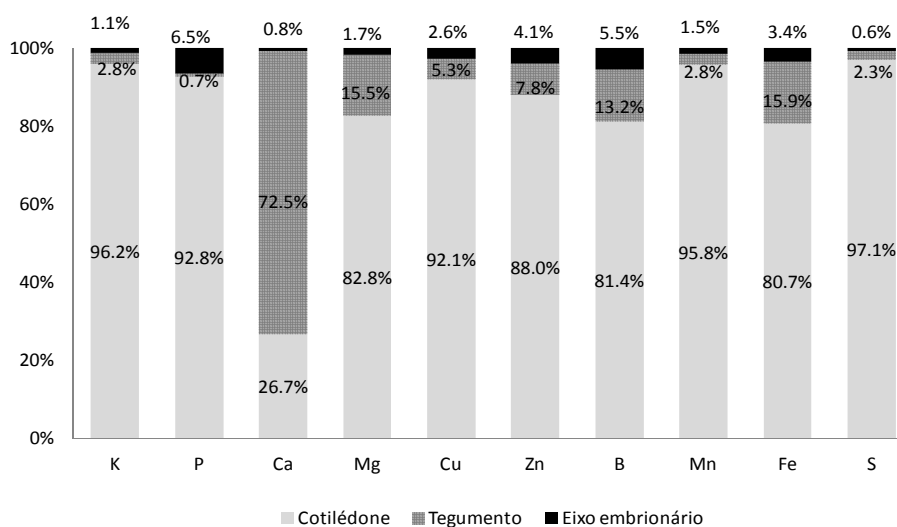


Figura 1 Porcentagem média de dez minerais nas diferentes frações da semente (cotilédone, eixo embrionário e tegumento) avaliadas em amostras de sementes de dez cultivares de feijão oriundas do ensaio estabelecido em Londrina – PR, safra das águas 2007/2008

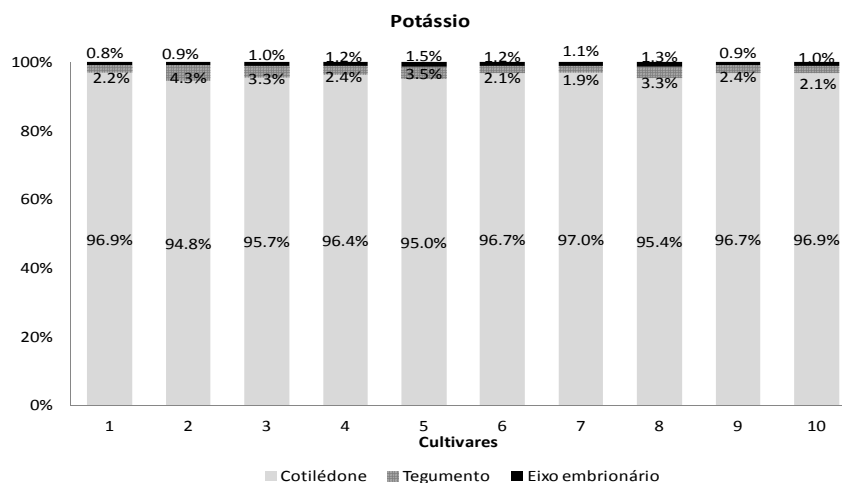


Figura 2 Percentagem de K avaliado no cotilédone, tegumento e eixo embrionário de sementes de dez cultivares de feijão (1: Red Hawk, 2: IPR Garça, 3: Hooter, 4: IAPAR 31, 5: IPRGralha, 6: IPR Juriti, 7: IPR Siriri, 8: IPR Uirapuru, 9: Jalo Precoce, 10: BRS Radiante) oriundas do ensaio estabelecido em Londrina – PR, safra das águas 2007/2008

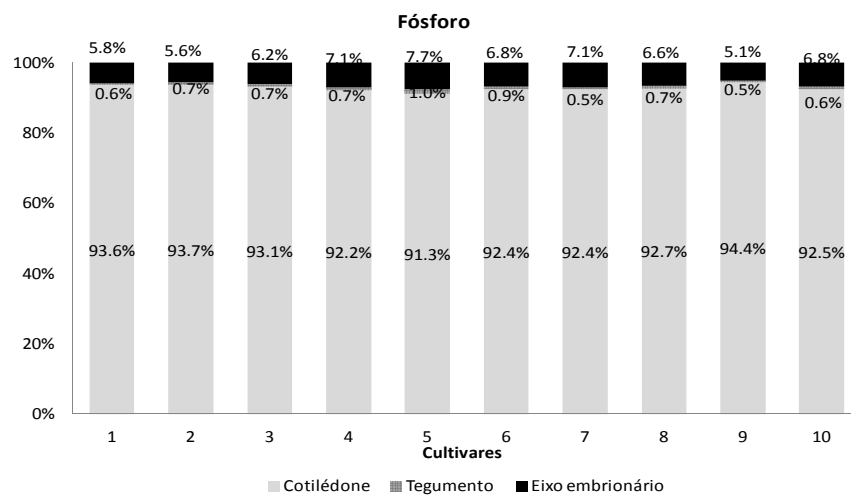


Figura 3 Percentagem de P avaliado no cotilédone, tegumento e eixo embrionário de sementes de dez cultivares de feijão (1: Red Hawk, 2: IPR Garça, 3: Hooter, 4: IAPAR 31, 5: IPRGralha, 6: IPR Juriti, 7: IPR Siriri, 8: IPR Uirapuru, 9: Jalo Precoce, 10: BRS Radiante) oriundas do ensaio estabelecido em Londrina – PR, safra das águas 2007/2008

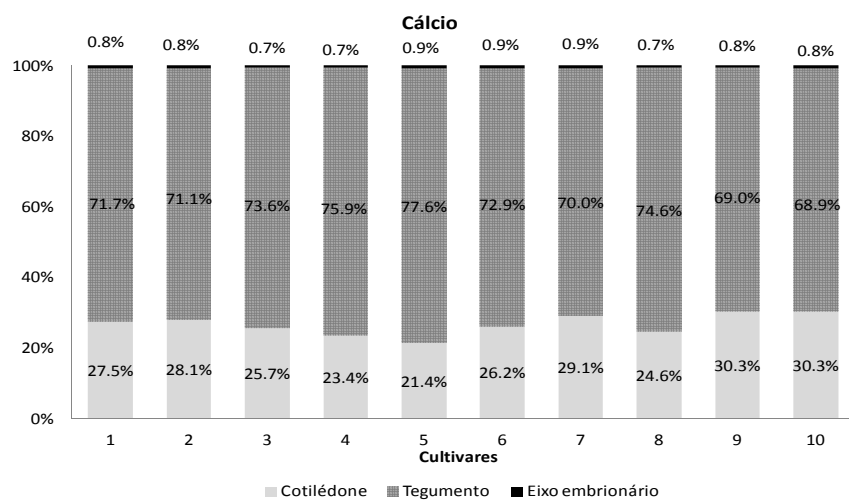


Figura 4 Percentagem de Ca avaliado no cotilédone, tegumento e eixo embrionário de sementes de dez cultivares de feijão (1: Red Hawk, 2: IPR Garça, 3: Hooter, 4: IAPAR 31, 5: IPRGralha, 6: IPR Juriti, 7: IPR Siriri, 8: IPR Uirapuru, 9: Jalo Precoce, 10: BRS Radiante) oriundas do ensaio estabelecido em Londrina – PR, safra das águas 2007/2008

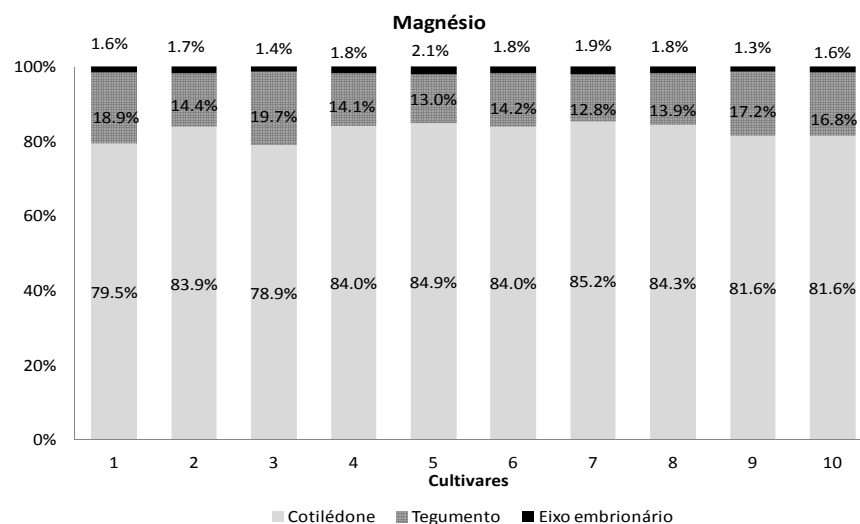


Figura 5 Percentagem de Mg avaliado no cotilédone, tegumento e eixo embrionário de sementes de dez cultivares de feijão (1: Red Hawk, 2: IPR Garça, 3: Hooter, 4: IAPAR 31, 5: IPRGralha, 6: IPR Juriti, 7: IPR Siriri, 8: IPR Uirapuru, 9: Jalo Precoce, 10: BRS Radiante) oriundas do ensaio estabelecido em Londrina – PR, safra das águas 2007/2008

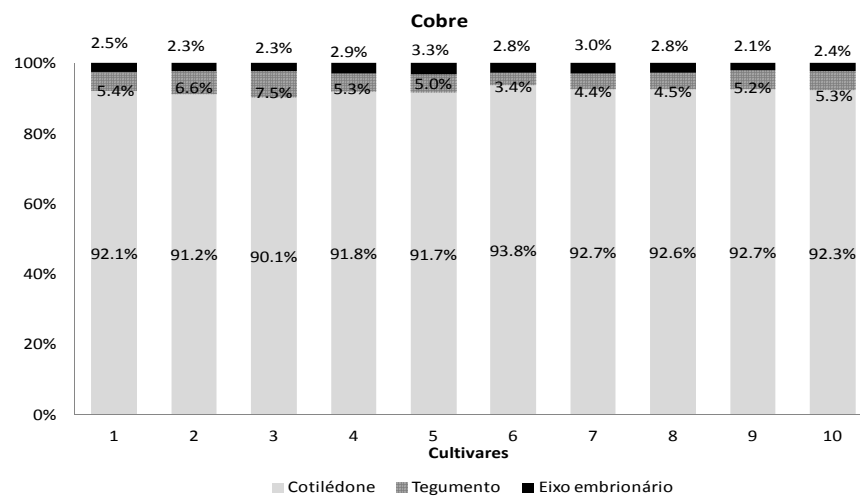


Figura 6 Percentagem de Cu avaliado no cotilédone, tegumento e eixo embrionário de sementes de dez cultivares de feijão (1: Red Hawk, 2: IPR Garça, 3: Hooter, 4: IAPAR 31, 5: IPRGralha, 6: IPR Juriti, 7: IPR Siriri, 8: IPR Uirapuru, 9: Jalo Precoce, 10: BRS Radiante) oriundas do ensaio estabelecido em Londrina – PR, safra das águas 2007/2008

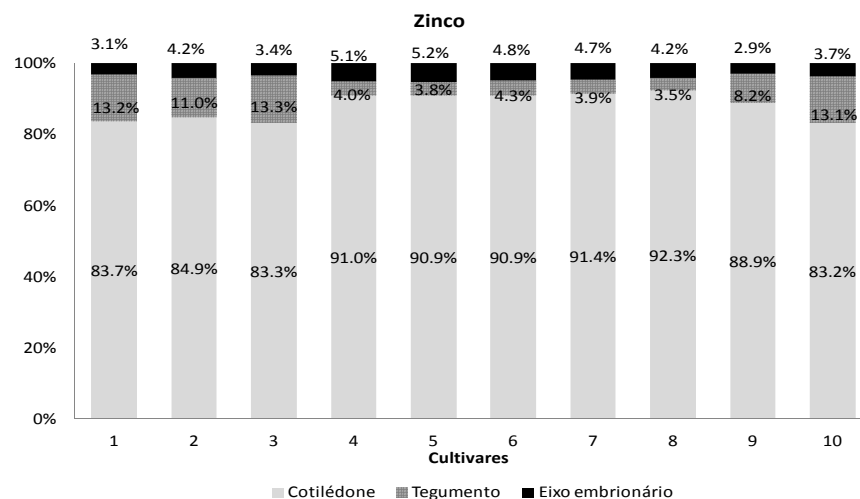


Figura 7 Percentagem de Zn avaliado no cotilédone, tegumento e eixo embrionário de sementes de dez cultivares de feijão (1: Red Hawk, 2: IPR Garça, 3: Hooter, 4: IAPAR 31, 5: IPRGralha, 6: IPR Juriti, 7: IPR Siriri, 8: IPR Uirapuru, 9: Jalo Precoce, 10: BRS Radiante) oriundas do ensaio estabelecido em Londrina – PR, safra das águas 2007/2008

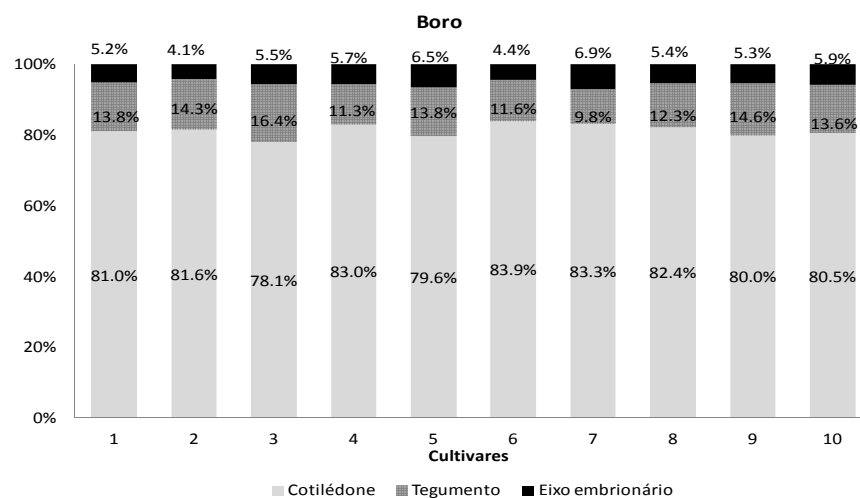


Figura 8 Percentagem de B avaliado no cotilédone, tegumento e eixo embrionário de sementes de dez cultivares de feijão (1: Red Hawk, 2: IPR Garça, 3: Hooter, 4: IAPAR 31, 5: IPRGralha, 6: IPR Juriti, 7: IPR Siriri, 8: IPR Uirapuru, 9: Jalo Precoce, 10: BRS Radiante) oriundas do ensaio estabelecido em Londrina – PR, safra das águas 2007/2008

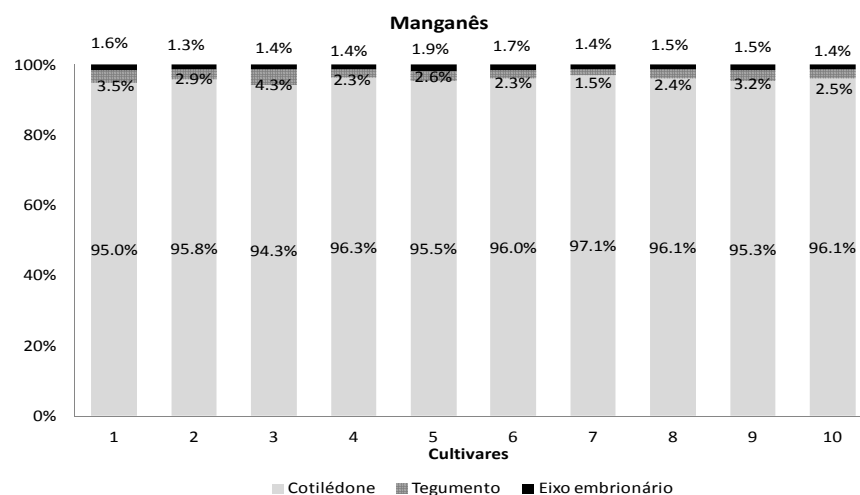


Figura 9 Porcentagem de Mn avaliado no cotilédone, tegumento e eixo embrionário de sementes de dez cultivares de feijão (1: Red Hawk, 2: IPR Garça, 3: Hooter, 4: IAPAR 31, 5: IPR Gralha, 6: IPR Juriti, 7: IPR Siriri, 8: IPR Uirapuru, 9: Jalo Precoce, 10: BRS Radiante) oriundas do ensaio estabelecido em Londrina – PR, safra das águas 2007/2008

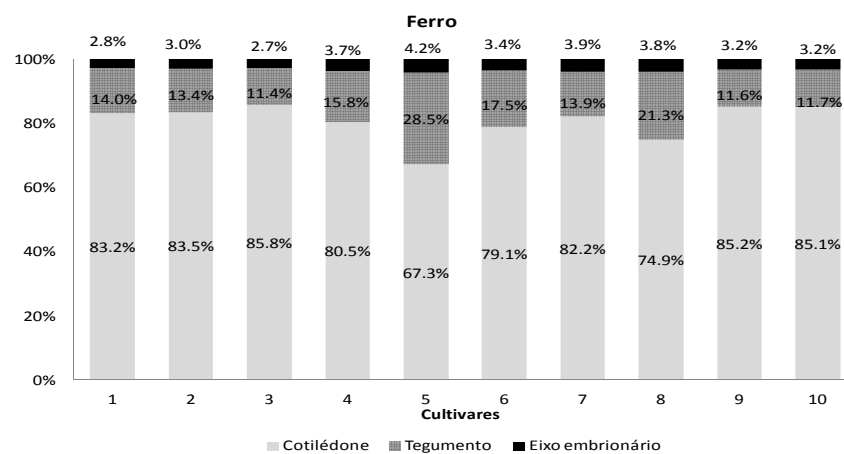


Figura 10 Porcentagem de Fe avaliado no cotilédone, tegumento e eixo embrionário em sementes de dez cultivares de feijão (1: Red Hawk, 2: IPR Garça, 3: Hooter, 4: IAPAR 31, 5: IPR Gralha, 6: IPR Juriti, 7: IPR Siriri, 8: IPR Uirapuru, 9: Jalo Precoce, 10: BRS Radiante) oriundas do ensaio estabelecido em Londrina – PR, safra das águas 2007/2008

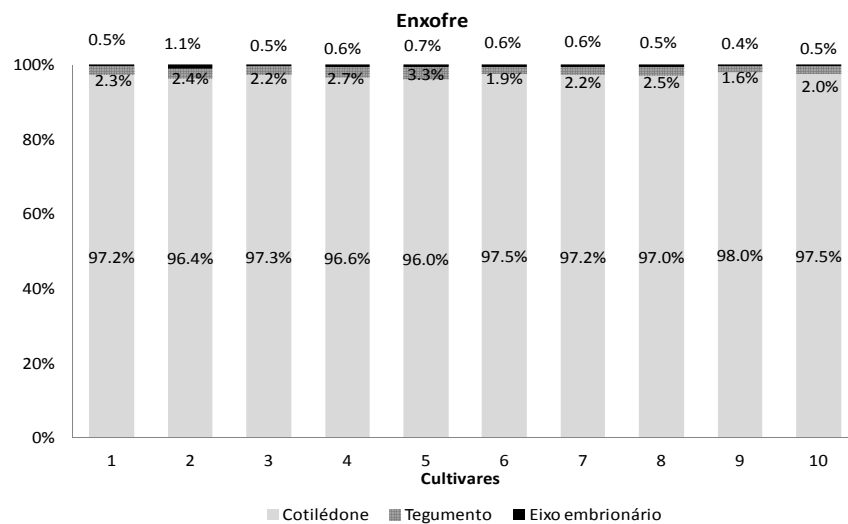


Figura 11 Porcentagem de S avaliado no cotilédone, tegumento e eixo embrionário de sementes de dez cultivares de feijão (1: Red Hawk, 2: IPR Garça, 3: Hooter, 4: IAPAR 31, 5: IPR Gralha, 6: IPR Juriti, 7: IPR Siriri, 8: IPR Uirapuru, 9: Jalo Precoce, 10: BRS Radiante) oriundas do ensaio estabelecido em Londrina – PR, safra das águas 2007/2008

CAPITULO 4 Estimativas de parâmetros genéticos associados aos teores de Fe, Zn, Ca, Mg e P em grãos de feijão

RESUMO

Os grãos de feijão são considerados fontes de nutrientes, essa leguminosa é amplamente empregada na dieta da população brasileira. Este trabalho tem como objetivo estimar os parâmetros genéticos e o ganho de seleção por meio de melhoramento genético para os teores de Fe, Zn, Ca, Mg e P em grãos de feijão. Os cruzamentos foram realizados entre as cultivares: FT Nobre x IPR Galha e Diamante Negro x IPR Chopim, sendo todas as cultivares usadas como genitoras apresentam origem mesoamericana e tegumento de cor preta. No experimento foram semeados os genitores (P_1 e P_2), as gerações F_1 , F_2 , RC_1 ($P_1 \times F_1$), RC_2 ($P_2 \times RC_2$) em Ponta Grossa – PR e Guarapuava – PR. As plantas foram colhidas manualmente após a maturação e nas sementes foram quantificados os teores de Fe, Zn, Ca, Mg e P. Nos cruzamentos avaliados foi observada a predominância da variância genética em relação à variância ambiental. As estimativas de herdabilidade no sentido restrito foram de magnitude intermediária a alta para os minerais avaliados. É possível incrementar os teores destes minerais nos grãos de feijão utilizando métodos de melhoramento genético convencionais, Fe, Zn, Ca, Mg e P pois foram observados ganhos obtidos com a seleção para esses minerais nos grãos.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L. Melhoramento de feijão. Teor de minerais.

ABSTRACT

The common beans grains are considered sources of nutrients, this leguminous is widely used in the diet of the Brazilian population. Objective this work was to estimate genetic parameters and gain selection through genetic improvement for the Fe, Zn, Ca, Mg and P levels in common beans grains. The crosses were made among cultivars: FT Nobre x IPR Gralha and Diamante Negro x IPR Chopim, and all cultivars used as genitors present Mesoamerican origin and black tegument. In the experiment were sown the genitors (P_1 and P_2), the generations F_1 , F_2 , RC_1 ($P_1 \times F_1$), RC_2 ($P_2 \times RC_2$) in Ponta Grossa - PR and Guarapuava - PR. Plants were harvested manually after maturity and in the seeds were quantified the levels Fe, Zn, Ca, Mg and P. At intersections evaluated was observed the prevalence of the genetic variance in relation to environmental variance. The heritability estimates in the narrow sense were intermediate to high magnitude for the minerals evaluated. It is possible to increase the levels in bean grains using conventional breeding methods, Fe, Zn, Ca, Mg and P thus was observed gains obtained with the selection for these minerals in the grains.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L. Improvement of common beans. Mineral levels.

1 INTRODUÇÃO

As sementes das leguminosas estão presentes na alimentação da população, e os grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) são amplamente consumidos na América Latina e especialmente no Brasil. O consumo de feijão é vantajoso do ponto de vista nutricional, pois na composição dos grãos são encontrados elevados teores de proteínas, fibras alimentares, carboidratos, vitaminas do complexo B e minerais (LAJOLO; GENOVESE; MENEZES, 1996). Também existem evidências de que o consumo regular de leguminosas reduz o risco de doenças cardiovasculares, diabetes e obesidade e até alguns tipos de câncer (DÍAZ-BATALLA et al., 2006).

Dada à importância econômica e social da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) fazem-se necessários programas de melhoramento visando cultivares com alto valor nutricional. O aumento do teor de nutrientes minerais em grãos de feijão é um desafio, e a presença de variabilidade genética no caráter a ser melhorado é essencial para os programas de melhoramento (PFEIFFER; MCCLAFFERTY, 2007).

As cultivares de feijão apresentam variabilidade genética para os teores de minerais nos grãos. Para o ferro foi observada variação de 34 a 126,9mg.kg⁻¹ (BEEBE; GONZALEZ; RENGIFO, 2000; MESQUITA et al., 2007) e para o zinco foi encontrada variação de 21 a 64,6mg.kg⁻¹ (AKOND et al., 2011; BEEBE; GONZALEZ; RENGIFO, 2000). Genótipos andinos e mesoamericanos geralmente diferem nos teores de minerais nas sementes, foi observado que em feijões de origem mesoamericana apresentam menores teores médios de ferros em relação aos andinos, no entanto o mesmo não é observado em relação ao zinco (ISLAM et al., 2002). No germoplasma avaliado no Brasil foram observados valores de 0,03 a 0,28g .100g⁻¹ para Ca; 0,18 a 0,34g.100g⁻¹ para Mg e 0,40 a 0,75g.100g⁻¹ para P (MESQUITA et al., 2007; SILVA et al., 2010). Na

avaliação feita no banco de germoplasma do CIAT verificou-se que a média dos teores de Ca e P dos grãos avaliados nos acessos mesoamericanos era superior aos de origem andina (ISLAM et al., 2002).

Alguns trabalhos têm sido publicados a respeito do controle genético dos teores de minerais em grãos de feijão. A acumulação de ferro e zinco em sementes de feijão é controlada por vários genes, sendo considerada como um caráter de herança quantitativa, podendo ser utilizada como estratégia de melhoramento a seleção recorrente (BLAIR et al., 2009a, 2010; ROSA et al., 2010). No estudo feito por Blair et al. (2009a), a partir do cruzamento de linhagens de feijoeiros andinos x mesoamericanos, foram identificados *QTL* para ferro e zinco em seis dos onze grupos de ligação do genoma do feijoeiro. No grupo de ligação B06 foram descobertos *QTL* responsáveis pela acumulação de ferro e zinco e isso sugere um loco pleiotrópico e a existência de um processo fisiológico comum para a absorção e transporte desses minerais (BLAIR et al., 2010). Com relação ao potencial de ganhos genéticos com a seleção, na avaliação feita no banco de germoplasma de feijão do Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), foi constatado que é possível aumentar em 80% o conteúdo de ferro nas sementes e 50% o teor de zinco (BEEBE; GONZALEZ; RENGIFO, 2000). Em outros estudos feitos com sementes de cultivares de feijão, foi relatado ganhos com seleção de 37,3% para teor de zinco (ROSA et al., 2010) e ganho de 11,14% para teor de ferro (JOST et al., 2009b).

A predominância dos efeitos aditivos e a presença do efeito materno na expressão para teor de Ca foi verificado, sugerindo que o genótipo da planta utilizada como genitor feminino exerce influencia na expressão do fenótipo de seus descendentes (JOST et al., 2009a). Quando foram avaliadas vagens de feijão observou-se variabilidade genética para acumulação de Ca, e as estimativas obtidas para herdabilidade foram de baixa magnitude para o teor de Ca nas vagens (QUINTANA et al., 1996). Devido à presença de variabilidade

genética para teor de Ca nas sementes e vagens, é possível obter ganhos com a seleção (JOST et al., 2009a; QUINTANA et al., 1996). Grande parte do P presente nos grãos está na forma de fitatos, e esses compostos são conhecidos por serem considerados como fatores antinutricionais devido à sua forte interação com os minerais ferro e o zinco reduzindo a sua biodisponibilidade na dieta humana. Por outro lado, os fitatos são fontes de P para a germinação e para o desenvolvimento da plântula (FROSSARD et al., 2000). Em grãos de feijão o teor de P é correlacionado positivamente com os teores de fitatos (BLAIR et al., 2009b). Com relação à herança relacionada aos teores de P e fitatos foi verificado que essas características são controladas por vários *QTLs* de efeito moderado e que esses *QTLs* são independentes uns dos outros (BLAIR et al., 2009b). A respeito dos teores de Mg em grãos de feijão foi constatada a presença de variabilidade genética para esse elemento mineral em germoplasma avaliado no Brasil (MESQUITA et al., 2007; SILVA et al., 2010) sendo viável incrementar os teores desse mineral nos grãos.

É possível incrementar os teores de Fe, Zn, Ca, Mg e P em grãos de feijão por meio de métodos de melhoramento, e maiores informações a respeito dos parâmetros genéticos responsáveis por essas características são importantes por proporcionar subsídios na tomada de decisão para a escolha dos métodos mais adequados em um programa de melhoramento. Visando obter mais informações a respeito desses caracteres este trabalho teve como objetivo estimar os parâmetros genéticos e os ganhos de seleção relacionados aos teores de Fe, Zn, Ca, Mg e P em sementes de feijão.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para estimar os parâmetros genéticos associados aos teores de Fe, Zn, Ca, Mg e P em sementes de feijão, efetuou-se a análise dos teores desses minerais nas gerações P_1 , P_2 , F_1 , F_2 , RC_1 ($P_1 \times F_1$) e RC_2 ($P_2 \times F_1$) dos cruzamentos: FT Nobre x IPR Gralha e Diamante Negro x IPR Chopim. Todos os genitores são de origem mesoamericana e apresentam o tegumento de coloração preta e teores contrastantes para os minerais avaliados nas sementes.

Os cruzamentos foram realizados manualmente em casa de vegetação, do Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), localizado em Londrina – PR, segundo a metodologia relatada por Bliss (1980), a qual consiste na emasculação do botão floral do genitor feminino, com a retirada das anteras com pinça, seguido de polinização com pólen do genitor masculino. Para obtenção da geração F_1 e dos RC_1 ($P_1 \times F_1$) e RC_2 ($P_2 \times F_1$) os genitores foram semeados em recipientes de plástico com a capacidade de 5L, contendo substrato composto por uma mistura na proporção de 1:3 de solo e areia. A água e nutrientes foram fornecidos de acordo com as necessidades exigidas pela cultura. O controle de pragas e doenças foi efetuado quando necessário, utilizando-se produtos registrados para a cultura do feijoeiro. Os recipientes foram dispostos em bancadas para facilitar o cruzamento dirigido na época de floração.

As sementes F_1 foram produzidas no período de março a junho de 2008, e posteriormente foram obtidas, as sementes F_2 a partir da autofecundação natural das plantas F_1 , e concomitantemente foram obtidas as gerações de retrocruzamentos RC_1 ($P_1 \times F_1$) e RC_2 ($P_2 \times F_1$). Em janeiro de 2009, correspondendo ao período da safra da seca, as gerações P_1 , P_2 , F_1 , F_2 , RC_1 ($P_1 \times F_1$) e RC_2 ($P_2 \times F_1$), de cada cruzamento foram semeadas em duas Estações Experimentais do IAPAR, uma localizada em Ponta Grossa (altitude de 975m; longitude 25°05' Sul; latitude 50°09'Oeste; solo classificado como Latossolo

vermelho escuro álico) e outra em Guarapuava (altitude de 1098m; longitude 25°23' Sul; latitude 51°27' Oeste; solo classificado como Cambissolo álico húmico). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, utilizando-se 300 sementes da geração F₂ e 30 sementes das demais gerações, sendo cada planta considerada uma repetição. Os tratamentos foram dispostos em fileiras de 2,00 m de comprimento, espaçadas 0,50 m, com uma densidade de 15 plantas por metro linear. A adubação de base foi efetuada de acordo com análise química do solo e efetuou-se uma adubação nitrogenada em cobertura com 100kg.ha⁻¹ de ureia no estágio de desenvolvimento V3. O controle de pragas, doenças e plantas invasoras foram efetuados com produtos registrados para a cultura.

As plantas de cada geração foram colhidas individualmente, onde todas as vagens de cada uma das plantas foram colocadas em saco de papel e posteriormente debulhadas e uma amostra aleatória de sementes de cada planta foi enviada ao Laboratório de Análises Químicas do IAPAR, para análise do teor de minerais.

As amostras de grãos de feijão foram inicialmente lavadas em água corrente de torneira e depois com água destilada a fim de retirar qualquer resíduo de solo ou outro material. Após a lavagem, as amostras foram secas em estufa de ventilação constante a 65°C. As amostras foram moídas até a obtenção de partículas inferiores a 1 mm de diâmetro. Em um tubo de digestão foi colocado 0,4g da farinha de feijão cru onde foi digerido em 4ml da solução nitroperclórica (HNO₃ + HClO₄, na proporção volumétrica de 3:1) (MIYAZAWA et al., 1999). A leitura dos teores de minerais foi realizada por espectrometria de emissão atômica acoplada ao plasma (ICP-OES).

O teste t a 5% de probabilidade foi usado para testar os contrastes P₁ vs P₂, P₁ vs F₁ e P₂ vs F₁. A herdabilidade no sentido amplo ($h_a^2 = \sigma_G^2 / \sigma_P^2$) e a herdabilidade no sentido restrito ($h_r^2 = \sigma_A^2 / \sigma_P^2$) foi estimada, considerando que

a variância aditiva ($\sigma_A^2 = 2\sigma_{F_2}^2 - (\sigma_{RC1}^2 + \sigma_{RC2}^2)$), a variância fenotípica ($\sigma_F^2 = \sigma_{F_2}^2$) e a variância ambiental em F₂ ($\sigma_E^2 = 1/4(\sigma_{P_1}^2 + \sigma_{P_2}^2 + 2\sigma_{F_1}^2)$) (WARNER, 1952 apud ROSA et al., 2010). As estimativas dos parâmetros genéticos foram obtidas a partir das variâncias das gerações estudadas em que $\sigma_{P_1}^2$, $\sigma_{P_2}^2$, $\sigma_{F_1}^2$, σ_{RC1}^2 e σ_{RC2}^2 corresponde respectivamente à variância dos genitores P₁ e P₂ e das gerações F₁, F₂, RC₁ e RC₂. A predição do ganho de seleção (ΔG) foi estimada usando a seguinte fórmula: ($\Delta G = DS \cdot h_a^2$) e ($\Delta G(\%) = \frac{\Delta G \times 100}{\bar{F}_2}$) em que o DS é o diferencial de seleção, que é expresso por $DS = \bar{X}_s - \bar{X}_o$, onde \bar{X}_s é a média das plantas com sementes F₂ selecionadas e \bar{X}_o é a média das plantas com sementes F₂. As análises estatísticas foram efetuadas com o auxílio do programa Genes (CRUZ, 2006).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ferro

Verifica-se que o contraste entre os genitores P_1 vs P_2 foi significativo pelo teste t a 1% de probabilidade (Tabela 1), isso demonstra a existência de divergência entre os genitores usados para ambos os cruzamentos nas duas localidades avaliadas. A existência de variabilidade genética dentro da espécie torna viável incrementar os teores de micronutrientes minerais por meio de métodos de melhoramento convencionais (PFEIFFER; MCCLAFFERTY, 2007).

Tabela 1 Média dos teores de ferro (mg.kg^{-1}) obtidos nos genitores (P_1 e P_2) e gerações F_1 , F_2 , RC_1 ($P_1 \times F_1$) e RC_2 ($P_2 \times F_1$) nos cruzamentos entre as cultivares: FT Nobre (P_1) x IPR Gralha (P_2) e Diamante Negro (P_1) x IPR Chopim (P_2) nos ensaios conduzidos nos municípios de Guarapuava e Ponta Grossa no Estado do Paraná, durante a safra da seca 2009

Genitores e gerações	Teor de Ferro (mg.kg^{-1})			
	Guarapuava		Ponta Grossa	
	FT Nobre x IPR Gralha	D. Negro x IPR Chopim	FT Nobre x IPR Gralha	D. Negro x IPR Chopim
P_1	84,9	72,2	83,35	70,40
P_2	71,0	83,4	76,34	74,09
F_1	89,2	74,7	73,43	78,82
F_2	86,0	75,4	80,31	73,71
RC_1	77,6	66,4	79,47	71,88
RC_2	70,2	75,8	85,34	71,76
Contraste				
P_1 vs P_2	**	**	*	**
P_1 vs F_1	ns	ns	**	**
P_2 vs F_1	**	**	ns	*

*/** significativo pelo teste t a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

Neste trabalho observou-se que em Guarapuava o contraste entre P_1 vs F_1 não foi significativo, esse fato indica que o teor médio de ferro do P_1 utilizado como genitor feminino não diferiu estatisticamente pelo teste t da média do híbrido F_1 (Tabela 1). Tem sido mencionada na literatura a influência do efeito materno na característica teor de ferro em sementes de feijão (JOST et al., 2009b; SILVA, 2011). O efeito materno é observado quando o fenótipo da geração F_1 é dependente do genótipo do genitor feminino. No entanto para confirmar a existência do efeito materno é necessário testar os contrastes F_1 vs F_1 recíprocos, assim como fez Jost et al. (2009b) e Silva (2011) em seus estudos, se for observado significância pode-se confirmar a presença do efeito materno. Os contrastes entre P_1 vs F_1 na localidade de Ponta Grossa foi significativo ($p < 0,001$), diferindo do resultado apresentado em Guarapuava, supõe-se que esse resultado deve ter sido influenciado pelo efeito ambiental. Araújo et al. (2003) avaliaram o teor de ferro em sementes de genótipos de feijão em diversas localidades do Estado do Paraná, e foi constatado a presença do efeito do local de cultivo e da interação genótipos por ambientes. A composição de minerais nos grãos de feijão é influenciada pelo efeito ambiental, isto é, das condições edafoclimáticas dos locais em que a cultura é submetida durante o seu desenvolvimento (ARAÚJO et al., 2003; RIBEIRO et al., 2010). Moraghan et al. (2002) verificaram que sementes oriundas de plantas cultivadas em solos ácidos ($pH=6,0$) apresentavam 25% mais ferro em relação àquelas cultivadas em solos alcalinos ($pH=8,2$), esse fato se deve ao fato que a absorção de ferro pela planta em solos bem aerados é dependente da solubilidade do ferro no solo, no qual é afetado pelo pH. Em condições brasileiras de cultivo, Araújo et al. (2003) verificaram que o teor de ferro nos grãos de cultivares e de linhagens avançadas de feijão é afetado pela constituição genética das cultivares e linhagens, pela localidade em que é realizado o cultivo e também influenciado pelas interações genótipos x ambientes.

A decomposição da variância fenotípica apresentou a predominância dos efeitos genéticos em relação aos efeitos ambientais nos cruzamentos FT Nobre x IPR Gralha e Diamante Negro x IPR Chopim para os teores de ferro nos dois locais avaliados. Pode ser verificada na variância genética a predominância de efeitos genéticos aditivos para essa característica (Tabela 2).

A herdabilidade é a proporção da variância fenotípica que é devido à variância genética. A herdabilidade no sentido amplo (h_a^2) envolve a razão entre a variância genética e a variância fenotípica ($h_a^2 = \sigma_G^2 / \sigma_F^2$). Neste trabalho a estimativa de h_a^2 para ferro variou de 58,47 a 75,57%. A herdabilidade no sentido restrito compreende a razão entre a variância genética aditiva e variância fenotípica ($h_r^2 = \sigma_A^2 / \sigma_F^2$) e a h_r^2 variou de 45,71% a 62,04% (Tabela 2). Jost et al. (2009b) estudaram a característica teor de ferro em sementes de feijão e a herdabilidade no sentido amplo (h_a^2) estimada variou de 48,45% a 76,36%, e a herdabilidade no sentido restrito (h_r^2) variou de 50,60% a 98,93%. Segundo Falconer (1981) as estimativas dos coeficientes de herdabilidade podem variar em função da população estudada e das circunstâncias ambientais as quais as plantas são submetidas durante o cultivo. Os genótipos e o local de cultivo avaliado por Silva et al. (2010) foi diferente a aquele estudado por Jost et al. (2009b).

Tabela 2 Estimativas dos parâmetros genéticos e predição dos ganhos de seleção para teor de ferro (mg Fe. kg⁻¹ de matéria seca) em sementes de feijão nos ensaios avaliados em Guarapuava e Ponta Grossa no Estado do Paraná durante a safra da seca 2009

Parâmetros genéticos	Guarapuava		Ponta Grossa	
	FT Nobre x	D.Negro x	FT Nobre x	D.Negro x
	IPR Gralha	IPR Chopim	IPR Gralha	IPR Chopim
Variância fenotípica (σ_p^2)	262,185	150,687	190,879	104,01
Variância de ambiente (σ_e^2)	82,424	36,807	79,264	41,56
Variância genotípica (σ_g^2)	179,761	113,879	111,615	62,44
Variância aditiva (σ_a^2)	125,156	93,49	87,262	61,65
Variância dominância (σ_d^2)	54,606	20,38	24,352	0,798
Herdabilidade ampla (h_a^2)	68,56	75,57	58,47	60,04
Herdabilidade restrita (h_r^2)	47,73	62,04	45,71	59,27
Heterose (h)	11,26	-3,14	-6,40	6,57
Nº indivíduos selecionados	46	58	57	51
Média original (\bar{X}_0)	85,99	75,36	80,31	73,71
Média dos ind. selecionados (\bar{X}_s)	111,66	94,17	100,85	89,59
Diferencial de seleção (DS)	25,67	18,80	20,53	15,88
Ganho de seleção (ΔG)	12,25	11,67	9,38	9,41
Ganho de seleção (ΔG %)	14,25	15,48	11,68	12,77
Média predita após o primeiro ciclo de seleção	98,24	87,03	89,70	83,13

Na geração F_2 foi observada uma ampla variação para os teores de ferro (Figura 1). Silva et al. (2010) avaliaram 100 acessos de feijão do banco de germoplasma da UFLA (Universidade Federal de Lavras) e observaram uma variação para os teores de ferro em sementes de feijão de 54,20 a 161,50 mg.kg^{-1} . Na análise de mais de 1000 acessos do banco de germoplasma do CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) localizado na Colômbia, foi observado uma variação de 34 a 84 mg.kg^{-1} , e em alguns acessos originários do Peru foram encontrados altos teores de ferro, superiores a 100 mg.kg^{-1} (BEEBE; GONZALES; RENGIFO, 2000; ISLAM et al., 2002).

Considerando a seleção de 20% das plantas F_2 , o ganho de seleção ($\Delta G\%$) para o mineral ferro no cruzamento FT Nobre x IPR Galha foi de 14,25% e 11,68% em Guarapuava e Ponta Grossa, respectivamente. Para o cruzamento Diamante Negro x IPR Chopim o ganho de seleção estimado foi de 15,48% e 12,77%. Pode ser observado que o cruzamento FT Nobre x IPR Galha apresentou a maior média predita após o primeiro ciclo de seleção em relação aos demais (Tabela 2).

De acordo com os resultados obtidos no presente estudo, verifica-se que é possível obter incremento nos teores de ferro em grãos de feijão, no entanto um ponto a ser levado em consideração é a questão da biodisponibilidade dos minerais para o organismo humano. Não se pode afirmar que o incremento nos teores de ferro nos grãos de feijão é diretamente proporcional a sua biodisponibilidade para o organismo humano, pois a presença de fatores antinutricionais, como por exemplo, os fitatos e os compostos fenólicos presentes nos grãos reduzem a biodisponibilidade para o organismo humano (FROSSARD et al., 2000).

No estudo feito por Tako, Blair e Glahn (2011) conclui-se que feijões biofortificados com altos teores de ferro constituem um instrumento promissor para aumentar a biodisponibilidade de ferro para a população humana, em que

foi verificado que é possível neutralizar os efeitos inibitórios dos polifenóis na absorção de ferro pelo incremento na concentração de ferro nos grãos.

3.2 Zinco

Paro o teor de zinco o contraste entre P_1 vs P_2 foi significativo para todos os cruzamentos, exceto o cruzamento D. Negro x IPR Chopim em Ponta Grossa. A significância dos contrastes entre P_1 e P_2 demonstra a ocorrência de diferenças genéticas entre os genitores usados para o teor de zinco. No cruzamento Diamante Negro x IPR Chopim em Ponta Grossa todos os contrastes avaliados não foram significativos, pode-se perceber que neste cruzamento a média dos genitores, híbrido F_1 e gerações derivadas foram similares (Tabela 3).

Tabela 3 Média dos teores de zinco (mg.kg^{-1}) obtido nos genitores (P_1 e P_2) e gerações F_1 , F_2 , RC_1 ($P_1 \times F_1$) e RC_2 ($P_2 \times F_1$) nos cruzamentos entre as cultivares FT Nobre (P_1) x IPR Gralha (P_2) e Diamante Negro (P_1) x IPR Chopim (P_2) nos ensaios conduzidos nos municípios de Guarapuava e Ponta Grossa no Estado do Paraná, durante a safra da seca 2009

Genitores e gerações	Teor de Zinco (mg.kg^{-1})			
	Guarapuava		Ponta Grossa	
	FT Nobre x IPR Gralha	D. Negro x IPR Chopim	FT Nobre x IPR Gralha	D. Negro x IPR Chopim
P_1	26,96	32,42	38,73	37,60
P_2	32,60	35,45	35,70	36,73
F_1	32,22	30,52	40,90	39,08
F_2	28,34	31,19	41,78	38,41
RC_1	35,92	25,21	40,42	38,13
RC_2	29,70	31,95	44,33	35,90
Contraste				
P_1 vs P_2	**	*	*	ns
P_1 vs F_1	**	ns	ns	ns
P_2 vs F_1	ns	*	**	ns

*/** significativo pelo teste t a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

Quando um determinado contraste não apresenta significância, isso indica que as médias testadas no contraste não diferem estatisticamente, esse resultado pode ser observado no contraste P_1 vs F_1 (D. Negro x IPR Chopim em Guarapuava; FT Nobre x IPR Gralha em Ponta Grossa) e P_2 vs F_1 (FT Nobre x IPR Gralha em Guarapuava) (Tabela 3). Na literatura tem-se relatado que a característica teor de zinco em sementes de feijão apresenta efeito materno (SILVA, 2011), no entanto outros trabalhos mencionam que tal característica é dependente dos cotilédones (MORAGHAN et al., 2002; MORAGHAN; GRAFTON 2002; ROSA et al., 2010). A divergência entre as informações encontradas por esses autores pode ser devido à variabilidade genética existente entre as cultivares e linhagens de feijão, porque os genótipos estudados por Moraghan et al. (2002), Moraghan e Grafton (2002) e Rosa et al. (2010) foram diferentes a aqueles estudados por Silva (2011). Também é necessário mencionar que o zinco acumula de forma diferenciada entre os tecidos da semente, nas cultivares estudadas por Moraghan et al. (2002) onde foi observado que a concentração de zinco no tegumento das sementes variaram de 4 a 12%.

Uma importante função da herdabilidade no estudo genético refere-se ao seu papel preditivo, expressando a confiança do valor fenotípico como um guia para o valor genético ou o grau de correspondência entre o valor fenotípico e o valor genético (FALCONER, 1981). Para o mineral zinco as estimativas de herdabilidade no sentido amplo (h_a^2) variaram de 45,14% a 65,68%, e a herdabilidade no sentido restrito (h_r^2) variou de 29,48% a 57,47%. No trabalho feito por Silva et al. (2010), foi encontrada estimativa de herdabilidade de alta magnitude para teor de zinco e outros minerais em sementes de feijão.

Para as estimativas dos ganhos de seleção foram considerados 20% dos indivíduos da população F_2 que apresentaram maiores teores de zinco. No cruzamento FT Nobre x IPR Gralha o ganho de seleção estimado em Guarapuava foi de 11,62% para zinco e a média predita após o primeiro ciclo de

seleção foi de $31,63\text{mg.kg}^{-1}$. Em Ponta Grossa a média predita após o primeiro ciclo de seleção foi de $44,84\text{mg.kg}^{-1}$. O ganho de seleção para o mineral zinco no cruzamento Diamante Negro x IPR Chopim foi de 18,96% em Guarapuava e 10,52% em Ponta Grossa. A média predita após o primeiro ciclo de seleção foi de $37,09\text{ mg.kg}^{-1}$ e $42,45\text{ mg.kg}^{-1}$ em Guarapuava e Ponta Grossa, respectivamente (Tabela 4).

O aumento do teor de zinco em sementes de feijão por meio de melhoramento genético é possível. Cultivares que apresentem maiores teores desse mineral em seus grãos apresentam vantagens por proporcionar melhor qualidade à dieta humana e também para a sustentabilidade dos cultivos em áreas agrícolas deficientes em zinco.

Tabela 4 Estimativas dos parâmetros genéticos e predição dos ganhos de seleção para teor de zinco (mg Zn. kg⁻¹ de matéria seca) em sementes de feijão nos ensaios avaliados em Guarapuava e Ponta Grossa no Estado do Paraná durante a safra da seca 2009

Parâmetros genéticos	Guarapuava		Ponta Grossa	
	FT Nobre x	D.Negro x	FT Nobre x	D.Negro x
	IPR Gralha	IPR Chopim	IPR Gralha	IPR Chopim
Variância fenotípica (σ_p^2)	21,607	49,074	47,406	36,255
Variância de ambiente (σ_e^2)	9,246	16,838	24,763	19,889
Variância genotípica (σ_g^2)	12,360	32,236	22,643	16,365
Variância aditiva (σ_a^2)	9,686	28,205	13,979	15,402
Variância dominância (σ_d^2)	2,675	4,030	8,663	0,963
Herdabilidade ampla (h_a^2)	57,20	65,68	47,76	45,14
Herdabilidade restrita (h_r^2)	44,82	57,47	29,48	42,48
Heterose (h)	2,44	-3,414	3,681	1,91
Nº indivíduos selecionados	46	59	57	51
Média original (\bar{X}_0)	28,34	31,186	41,784	38,412
Média dos ind. selecionados (\bar{X}_s)	35,69	41,474	52,153	47,931
Diferencial de seleção (DS)	7,35	10,28	10,36	9,51
Ganho de seleção (ΔG)	3,29	5,91	3,05	4,04
Ganho de seleção (ΔG %)	11,62	18,96	7,31	10,52
Média predita após o primeiro ciclo de seleção	31,63	37,09	44,84	42,45

3.3 Cálcio

O contraste entre os genitores dos cruzamentos FT Nobre x IPR Gralha e Diamante Negro x IPR Chopim para o caráter teor de Ca nas sementes foi significativo a 1% de probabilidade pelo teste t, esse fato indica que os genitores utilizados foram contrastantes para o teor de Ca na semente. O contraste P_1 vs F_1 não diferiu estatisticamente, para os dois cruzamentos avaliados (Tabela 5). Uma possível explicação para esse resultado é que o teor de Ca em grãos de feijão pode variar em função do genótipo utilizado como genitor feminino, uma vez que no trabalho efetuado por Jost et al. (2009a) foi verificado a presença de efeito materno atuando nessa característica. No efeito materno os genes nucleares da mãe são responsáveis pela expressão fenotípica de alguns caracteres do filho. Sabe-se que na semente o tegumento é tecido de origem materna e que o embrião (eixo embrionário e cotilédone) é resultante da fertilização (RAMALHO; SANTOS; PINTO, 2000). Na literatura existem evidências que o Ca está presente em maior proporção no tegumento da semente (MORAGHAN; ETCHEVES; PADILLA, 2006; MORAGHAN; GRAFTON, 2002).

A curva em forma de sino (Figura 3) sugere uma distribuição normal para os teores de Ca avaliados nas sementes F_2 . O teor médio de Ca na geração F_2 variou $0,393\text{g.kg}^{-1}$ a $2,347\text{g.kg}^{-1}$ no cruzamento FT Nobre x IPR Gralha e $0,368\text{g.kg}^{-1}$ a $2,454\text{g.kg}^{-1}$ no cruzamento Diamante Negro x IPR Chopim. Essas amplitudes de variação encontradas na geração F_2 deste trabalho foram semelhantes à encontrada por Mesquita et al. (2007) cuja a amplitude de variação para teor de Ca em grãos de 21 linhagens de feijão foi de $0,3\text{g.kg}^{-1}$ a $2,8\text{g.kg}^{-1}$. Na avaliação feita por Islam et al. (2002) foram analisados 1.072 acessos de feijão do banco de germoplasma do CIAT, e o teor de Ca nas sementes variaram de $0,5\text{g.kg}^{-1}$ a $3,1\text{g.kg}^{-1}$.

Tabela 5 Média e desvio padrão dos teores de cálcio (g.kg^{-1}), magnésio (g.kg^{-1}) e fósforo (g.kg^{-1}) em sementes de feijão obtidas nos genitores (P_1 e P_2) e gerações F_1 , F_2 , RC_1 e RC_2 nos cruzamentos entre as cultivares FT Nobre x IPR Galha e Diamante Negro x IPR Chopim

Genitores e gerações	Teor de cálcio (g.kg^{-1})		Teor de magnésio (g.kg^{-1})		Teor de fósforo (g.kg^{-1})	
	FT Nobre x IPR Galha	D. Negro x IPR Chopim	FT Nobre x IPR Galha	D. Negro x IPR Chopim	FT Nobre x IPR Galha	D. Negro x IPR Chopim
P_1	1,470 \pm 0,168	1,531 \pm 0,334	1,936 \pm 0,123	2,036 \pm 0,091	7,579 \pm 0,384	5,545 \pm 0,363
P_2	1,150 \pm 0,138	1,041 \pm 0,299	2,030 \pm 0,129	2,019 \pm 0,101	5,144 \pm 0,319	5,993 \pm 0,366
F_1	1,402 \pm 0,135	1,400 \pm 0,290	2,169 \pm 0,100	2,067 \pm 0,122	7,057 \pm 0,307	5,697 \pm 0,334
F_2	1,198 \pm 0,373	1,362 \pm 0,409	2,104 \pm 0,198	2,022 \pm 0,154	5,153 \pm 0,680	5,906 \pm 0,706
RC_1	1,015 \pm 0,305	1,397 \pm 0,355	2,046 \pm 0,172	2,006 \pm 0,142	5,705 \pm 0,621	5,903 \pm 0,572
RC_2	1,337 \pm 0,270	1,113 \pm 0,384	2,102 \pm 0,158	2,023 \pm 0,143	6,267 \pm 0,543	6,090 \pm 0,606
Contrastes						
P_1 vs P_2	**	**	**	ns	**	**
P_1 vs F_1	ns	ns	**	ns	**	ns
P_2 vs F_1	*	**	**	ns	**	**

ns: não significativo; */** significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste t.

Na decomposição da variância fenotípica (σ_F^2) foi observado que a variância genética (σ_G^2) foi predominante em relação à variância ambiental (σ_A^2). Em um programa de melhoramento de plantas a presença de variabilidade genética é essencial, pois torna possível obter ganhos genéticos com a seleção. Quintana et al. (1996, 1999) relataram que também foi observada a presença de variabilidade genética para o teor de Ca em vagens de feijão, e os autores relatam que essa variabilidade pode ser devido à diferença na absorção de Ca a partir do solo nos genótipos estudados. Dessa forma, aqueles genótipos que apresentam alta acumulação de Ca nas vagens são mais eficientes na importação de Ca do que aqueles genótipos com baixas teores de Ca nas vagens.

Com relação à variância ambiental pode ser observado que esta foi maior no cruzamento Diamante Negro x IPR Chopim ($\sigma_E^2=0,0925$) em relação ao cruzamento FT Nobre x IPR Gralha ($\sigma_E^2=0,02093$). A variância genética aditiva (σ_A^2) contribuiu em maior proporção em relação à variância genética atribuída aos desvios de dominância (σ_D^2), este fato foi observado para ambos os cruzamentos realizados (Tabela 6).

As estimativas para herdabilidade no sentido amplo e restrito para o cruzamento FT Nobre x IPR Gralha foi de 84,94% e 80,70% respectivamente. Para o cruzamento Diamante Negro x IPR Chopim a h_a^2 foi de 44,58% e a h_r^2 foi de 35,95%, a menor magnitude das estimativas de herdabilidade para esse cruzamento se deve maior contribuição da variância ambiental (Tabela 6). Jost et al. (2009a), encontraram estimativas de herdabilidade de magnitude intermediária para teor de Ca em sementes de feijão, em que nas populações estudadas por esses autores as estimativas de herdabilidade no sentido amplo variaram de 66,75% a 74,75% e as estimativas de herdabilidade no sentido restrito variaram de 47% a 63,61%. Quando foi avaliado o teor de Ca em vagens de feijão, a herdabilidade no sentido restrito calculada em duas populações foram de 48 e 50% (QUINTANA et al., 1999).

Tabela 6 Estimativas dos parâmetros genéticos e predição dos ganhos de seleção para teor de Ca (g Ca. kg⁻¹ de matéria seca), Mg (g Mg. kg⁻¹ de matéria seca) e P (g P. kg⁻¹ de matéria seca) em sementes de feijão

Parâmetros genéticos	Teor de Ca (g.kg ⁻¹)		Teor de Mg (g.kg ⁻¹)		Teor de P (g.kg ⁻¹)	
	FT Nobre x IPR Gralha	Diamante Negro x IPR Chopim	FT Nobre x IPR Gralha	Diamante Negro x IPR Chopim	FT Nobre x IPR Gralha	Diamante Negro x IPR Chopim
	Variância fenotípica (σ^2_P)	0,13906	0,1669	0,03932	0,0240	0,462
Variância de ambiente (σ^2_A)	0,02093	0,0925	0,01311	0,1218	0,109	0,1222
Variância genotípica (σ^2_G)	0,11813	0,0744	0,02620	0,0118	0,353	0,3761
Variância aditiva (σ^2_A)	0,11223	0,0600	0,02352	0,0071	0,244	0,3022
Variância dominância (σ^2_D)	0,00590	0,0144	0,00268	0,0047	0,108	0,0739
Herdabilidade ampla (h^2_A)	84,94	44,58	66,64	49,26	76,36	75,47
Herdabilidade restrita (h^2_R)	80,70	35,95	59,81	29,66	52,87	60,63
Heterose (h)	0,091	0,109	0,186	0,039	0,695	-0,0719
Nº indivíduos selecionados	60	59	46	59	46	59
Média original (\bar{X}_0)	1,198	1,362	2,104	2,022	5,15	5,906
Média dos ind. selecionados (\bar{X}_1)	1,730	1,949	2,407	2,246	6,21	6,975
Diferencial de seleção (DS)	0,531	0,586	0,302	0,224	1,06	1,068
Ganho de seleção (ΔG)	0,429	0,210	0,180	0,066	0,56	0,647
Ganho de seleção ($\Delta G\%$)	35,81	15,47	8,59	3,28	10,88	10,97
Média predita após o primeiro ciclo de seleção	1,627	1,57	2,285	2,089	5,71	6,5548

No cruzamento FT Nobre x IPR Galha a média calculada dos indivíduos F_2 era de $1,198\text{g.kg}^{-1}$, efetuando a seleção de 20% dos indivíduos que apresentavam os maiores teores de Ca, a média predita após o primeiro ciclo de seleção foi de $1,627\text{g.kg}^{-1}$ e o ganho de seleção estimado foi de 35,81%. No cruzamento Diamante Negro x IPR Chopim, a média da geração F_2 era de $1,362\text{g.kg}^{-1}$. Considerando a seleção de 20% dos indivíduos nesta geração, o ganho estimado após o primeiro ciclo de seleção foi de 15,47% (Tabela 6).

3.4 Magnésio

No cruzamento FT Nobre x IPR Galha os contrastes P_1 vs P_2 , P_1 vs F_1 e P_2 vs F_1 foram significativos pelo teste t a 1% de probabilidade, indicando que esses genótipos utilizados como genitores foram contrastantes para o teor de Mg nas sementes de feijão. Também pode ser verificado para esse cruzamento que a geração F_1 diferiu de ambos os genitores. Para o cruzamento Diamante Negro x IPR Chopim o contraste entre os genitores foi não significativo, o mesmo resultado pode ser observado nos contrastes P_1 vs F_1 e P_2 vs F_2 (Tabela 5).

O teor médio de Mg na geração F_2 variou $1,594\text{g.kg}^{-1}$ a $2,669\text{g.kg}^{-1}$ do cruzamento FT Nobre x IPR Galha e $1,662\text{g.kg}^{-1}$ a $2,568\text{g.kg}^{-1}$ do cruzamento Diamante Negro x IPR Chopim (Figura 3). Para o teor de Mg em grãos de feijão Mesquita et al. (2007) encontrou uma variação de $1,8\text{g.kg}^{-1}$ a $3,3\text{g.kg}^{-1}$.

Para o teor de Mg, verifica-se que em ambos os cruzamentos houve a predominância de efeitos genéticos sobre os efeitos ambientais. Com relação às estimativas de herdabilidade calculada no sentido amplo e restrito foi de 66,64% e 59,81% respectivamente no cruzamento FT Nobre x IPR Galha. Para o cruzamento Diamante Negro x IPR Chopim as estimativas de herdabilidade no sentido amplo e restrito foi de 49,26% e 26,66% respectivamente (Tabela 6). A herdabilidade não é um valor constante, esse parâmetro pode variar em função

da característica avaliada e das circunstâncias do ambiente nas quais os indivíduos são submetidos e da população estudada (FALCONER, 1981).

Nas estimativas de ganho de seleção foi considerando a seleção de 20% da geração F_2 que apresentava maior teor de Mg. O cruzamento FT Nobre x IPR Gralha demonstrou ser mais promissor que o cruzamento Diamante Negro x IPR Chopim por apresentar maior média predita após o primeiro ciclo de seleção (Tabela 6).

3.5 Fósforo

Para os cruzamentos FT Nobre x IPR Gralha e Diamante Negro x IPR Chopim o contraste entre os genitores P_1 vs P_2 foi significativo pelo teste t a 1% de probabilidade, indicando que os genitores utilizados diferem para os teores de P na semente. Para o cruzamento FT Nobre x IPR Gralha os contrastes P_1 vs F_1 e P_2 vs F_1 foram significativos, portanto os teores médios de P na semente nos genitores diferem do híbrido F_1 . No cruzamento Diamante Negro x IPR Chopim observa-se que o contraste entre P_1 vs F_1 não foi significativo (Tabela 5).

O teor médio de P na geração F_2 variou $3,746\text{g.kg}^{-1}$ a $7,20\text{g.kg}^{-1}$ no cruzamento FT Nobre x IPR Gralha e $4,107\text{g.kg}^{-1}$ a $7,97\text{g.kg}^{-1}$ no cruzamento Diamante Negro x IPR Chopim (Figura 3). Na avaliação feita por Islam et al. (2002) foram avaliados 1072 acessos do banco de germoplasma de feijão do CIAT e para o teor de P foi encontrada variação de $2,2\text{ g.kg}^{-1}$ a $7,1\text{g.kg}^{-1}$. Na avaliação de 155 acessos do banco de germoplasma em Portugal foi encontrada uma variação de $4,97$ a $7,97\text{g.kg}^{-1}$ para P (PINHEIRO et al., 2010). Nas sementes de feijão grande parte do P encontrado está na forma de fitatos, e esses compostos químicos são conhecidos por suas propriedades antinutricionais, que apresentam forte interação com ferro e zinco tornando-os não biodisponíveis para organismo humano. Por outro lado os fitatos são a principal forma de

armazenamento de P na semente, e os fitatos encontrados no eixo embrionário e cotilédone são utilizados para a germinação e desenvolvimento da plântula (FROSSARD et al., 2000).

Na Tabela 6 podem ser observadas as estimativas dos parâmetros genéticos para os teores de P em sementes de feijão. Quando a variância fenotípica é fracionada em variância genética e variância ambiental, pode ser observado que há maior contribuição dos efeitos genéticos em relação aos efeitos devido ao ambiente.

A estimativa da herdabilidade no sentido amplo variou de 76,36% a 75,47% e a herdabilidade no sentido restrito variou de 52,87% a 60,63%. Na literatura a herdabilidade em sentido restrito observada foi de intermediária (65,54%) a baixa (21,37%) (RIBEIRO et al., 2011).

Os ganhos de seleção foram estimados considerando a seleção de 20% dos indivíduos F_2 que apresentaram maiores teores de fósforo. Para o cruzamento FT Nobre x IPR Gralha o ganho de seleção estimado foi de 10,88% e a média predita após o primeiro ciclo de seleção foi de 5,71g.kg⁻¹. No cruzamento Diamante Negro x IPR Chopim o ganho de seleção e a média predita após o primeiro ciclo de seleção foi de 10,97% e 6,55 g.kg⁻¹ respectivamente.

4 CONCLUSÃO

É viável por meio do uso de métodos de melhoramento convencionais incrementar os teores de Fe, Zn, Ca, Mg e P em sementes de feijão.

Nos cruzamentos avaliados foi observada a predominância da variância genética em detrimento da variação ambiental para os teores de minerais nos grãos de feijão. Portanto, devido à presença de variação de causa genética nos cruzamentos, pode-se dizer que o incremento dos teores de Fe, Zn, Ca, Mg e P nos grãos é viável por métodos de melhoramento clássicos.

As estimativas dos coeficientes de herdabilidade no sentido restrito obtido para os minerais Fe e Zn foram intermediárias.

Os ganhos genéticos obtidos com a seleção variam conforme o mineral avaliado, o cruzamento e o local de avaliação. Para os teores de Fe, Zn, Ca, Mg e P foi possível a obtenção de ganhos com seleção dos indivíduos que apresentaram maiores teores desses minerais nos grãos.

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pela concessão da bolsa de estudos, ao Instituto Agronômico do Paraná- IAPAR pelo auxílio na condução dos experimentos e infraestrutura e ao Ministério de Desenvolvimento Social (MDS) pelo auxílio financeiro dado ao projeto IAPAR -BIOFORTA.

REFERÊNCIAS

- AKOND, A. S. M. G. M. et al. Minerals (Zn, Fe, Ca and Mg) and antinutrient (phytic acid) constituents in common beans. **American Journal of Food Technology**, New York, v. 6, n. 3, p. 235-243, 2011.
- ARAÚJO, R. et al. Genotype x environment interaction effects on the iron content of common bean grains. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 3, n. 4, p. 269-274, 2003.
- BEEBE, S.; GONZALEZ, A. V.; RENGIFO, J. Research on trace minerals in the common bean. **Food and Nutrition Bulletin**, Tokyo, v. 21, n. 4, p. 387-391, 2000.
- BLAIR, M. W. et al. Inheritance of seed iron and zinc concentration in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Molecular Breeding**, Dordrecht, v. 23, n. 2, p. 197-207, 2009a.
- BLAIR, M. W. et al. Quantitative trait locus analysis of seed phosphorus and seed phytate content in a recombinant inbred line population of common bean. **Crop Science**, Madison, v. 49, n. 1, p. 237-246, 2009b.
- BLAIR, M. W. et al. QTL for seed iron and zinc concentration and content in a mesoamerican common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) population. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 121, n. 6, p.1059-1070, 2010.
- BLISS, F. A. Common Bean. In: FERH, W. R.; HADLEY, H. H. (Ed). **Hybridization of crops plants**. Madison: ASA/CSSA, 1980. p. 273-284.
- CRUZ C. D. **Programa Genes (Versão Windows)**: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa, MG: UFV, 2006. v. 1.
- DÍAZ-BATALLA, L. et al. Chemical components with health implications in wild and cultivated Mexican common bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Washington, v. 54, n. 6, p. 2045-2052, 2006.
- FALCONER, D. S. **Introdução á genética quantitativa**. Viçosa, MG: UFV,1981. 279 p.

FROSSARD, E. et al. Potential for increasing the content and bioavailability of Fe, Zn and Ca in plants for human nutrition. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 80, n. 7, p. 861–879, 2000.

ISLAM, F. M. A. et al. Seed composition and disease resistance differences among gene pools in cultivated beans. **Genetic Resources and Crop Evolution**, Dordrecht, v. 49, p. 285–293, 2002.

JOST, E. et al. Efeitos gênicos do teor de cálcio em grãos de feijão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 31-37, 2009a.

JOST, E. et al. Potencial do aumento do teor de ferro em grãos de feijão por melhoramento genético. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 1, p. 35-42, 2009b.

LAJOLO, F. M.; GENOVESE, M. I.; MENEZES, E. W. Qualidade nutricional. In: Araujo, R. S. et al. (Coord.). **Cultura do feijoeiro no Brasil**. Piracicaba: Potafôs, 1996. p. 71-99.

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

MIYAZAWA, M. et al. Análises químicas de tecido vegetal. In: SILVA, F. C. (Org.) **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos/ Embrapa Informática Agropecuária/ Embrapa Comunicação para a transferência de Tecnologia, 1999. p. 171-223.

MORAGHAN, J. T. et al. Iron accumulation in seed of common bean. **Plant and Soil**, The Hague, v. 246, n. 2, p. 175-183, 2002.

MORAGHAN, J. T.; ETCHEVERS, J. D.; PADILLA, J. Contrasting accumulations of calcium and magnesium in seed coat and embryos of common bean and soybean. **Food Chemistry**, London, v. 95, n. 4, p. 554- 561, 2006.

MORAGHAN, J. T.; GRAFTON, K. Distribution of selected elements between the seed coat and embryo of two black bean cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 25, n. 1, p.169-176, 2002.

PFEIFFER, W. H.; McCLAFFERTY, B. Harvest plus: breeding crops for better nutrition. **Crop Science**, Madison, v. 47, n. 2, p. 88-105, 2007. Suppl.

PINHEIRO, C. et al. Diversity of seed mineral composition of *Phaseolus vulgaris* L. germoplasm. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 23, n. 4, p. 319-325, 2010.

QUINTANA, J. M. et al. Comparison of pod calcium concentration between two snap bean populations. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 124, n. 3, p. 273-276, 1999.

QUINTANA, J. M. et al. Variation in calcium concentration among sixty S1 families and four cultivars of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 121, n. 5, p. 789-793, 1996.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; PINTO, C. A. B. P. **Genética na agropecuária**. Lavras: UFLA, 2000. 472 p.

RIBEIRO, N. D. et al. Genetics of phosphorus content in common bean seeds. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 11, p. 250-256, 2011.

RIBEIRO, N. D. Potencial de aumento da qualidade nutricional do feijão por melhoramento genético. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, p. 1367-1376, 2010. Supl. 1.

ROSA, S. S. et al. Potential for increasing the zinc content in common bean using genetic improvement. **Euphytica**, Wageningen, v. 175, n. 2, p. 207-213, 2010.

SILVA, C. A. et al. Genetic variability protein and mineral content in common bean lines (*Phaseolus vulgaris* L.). **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 53, p. 144-145, 2010.

SILVA, C. A. **Potencial de linhagens de feijão com relação aos teores de proteína e minerais nas sementes**. 2011. 95 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

TAKO, E.; BLAIR, M. W.; GLAHN, R. P. Biofortified red mottled beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in a maize and bean diet provide more bioavailable iron than standard red mottled beans: Studies in poultry (*Gallus gallus*) and in vitro digestion/Caco-2 model. **Nutrition Journal**, London, v. 10, n. 113, p. 1-10, 2011.

ANEXOS

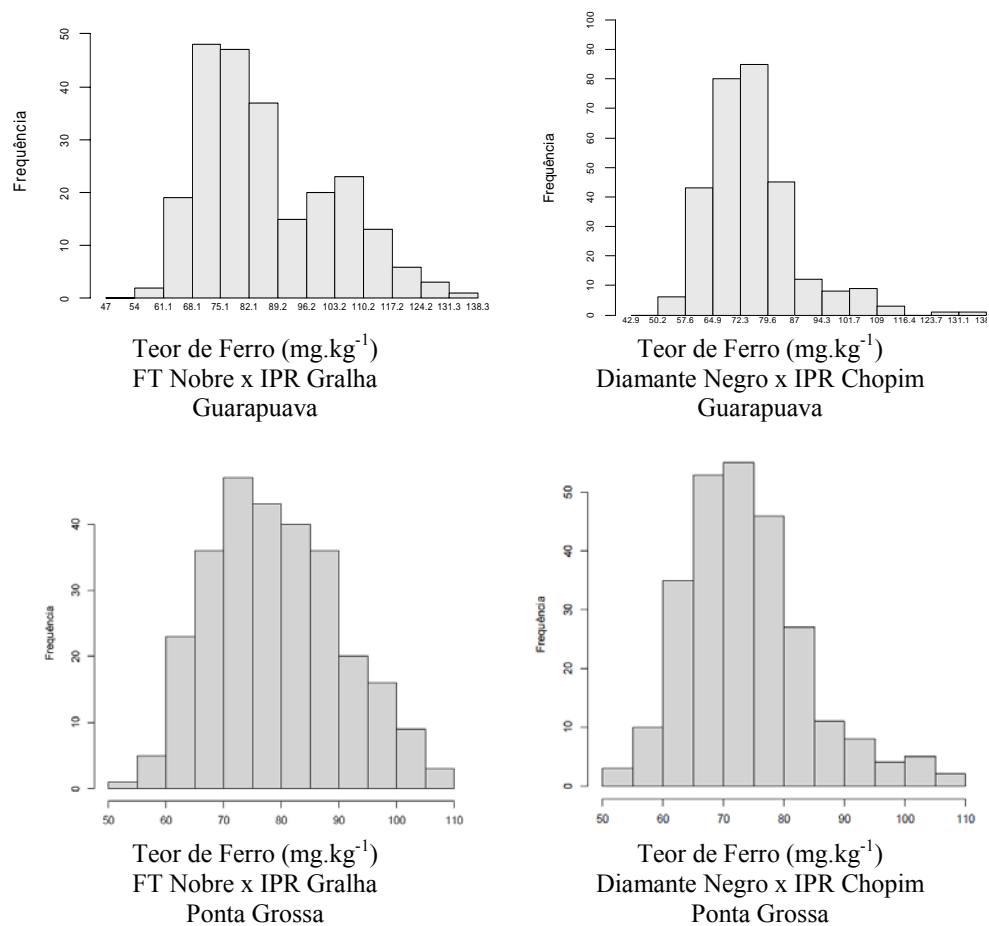


Figura 1 Distribuição dos teores de ferro (mg.kg⁻¹) observada na geração F₂, resultante do cruzamento entre as cultivares FT Nobre x IPR Gralha e Diamante Negro x IPR Chopim. Guarapuava-PR e Ponta Grossa-PR, safra da seca 2009

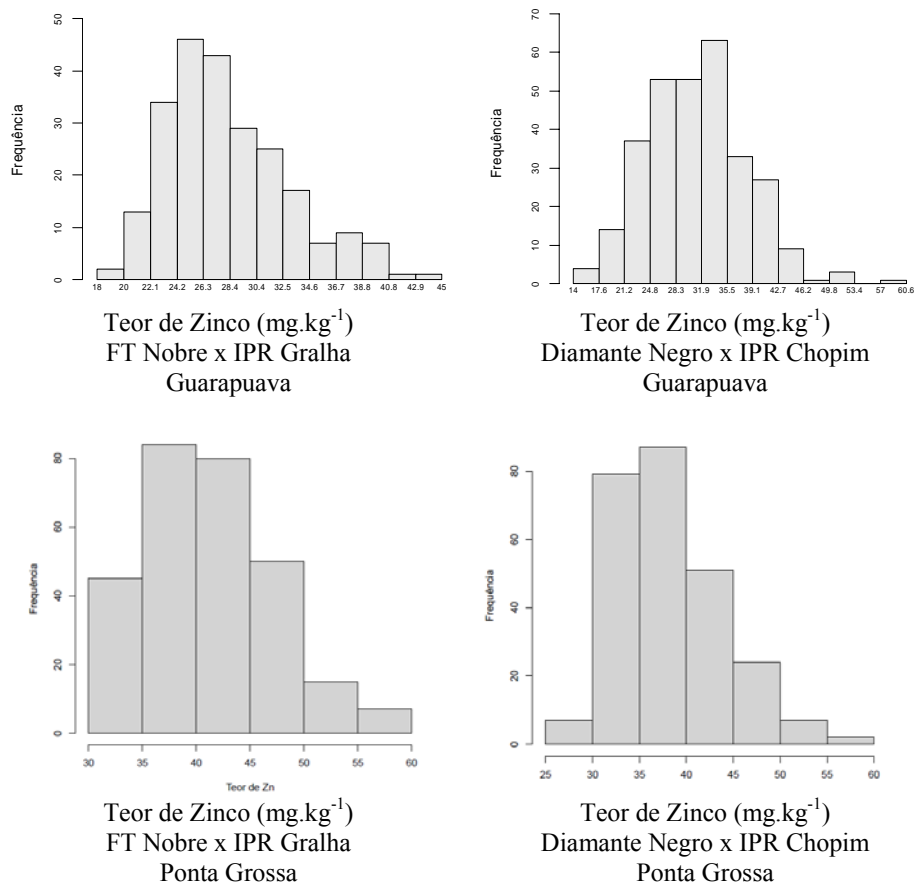


Figura 2 Distribuição dos teores de zinco (mg.kg⁻¹) observada na geração F₂, resultante do cruzamento entre as cultivares FT Nobre x IPR Galha e Diamante Negro x IPR Chopim. Guarapuava-PR e Ponta Grossa-PR safra da seca 2009

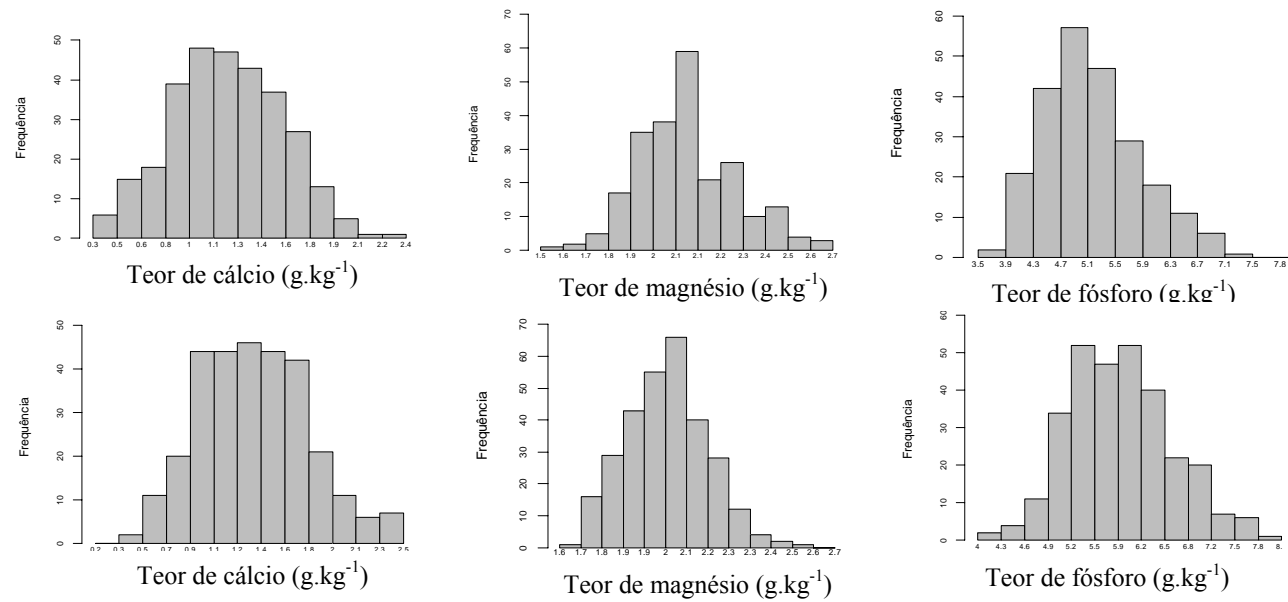


Figura 3 Distribuição dos teores de cálcio (g.kg⁻¹), magnésio (g.kg⁻¹) e fósforo (g.kg⁻¹) observada na geração F₂, resultante do cruzamento entre as cultivares FT Nobre x IPR Gralha (acima) e Diamante Negro x IPR Chopim (abaixo). Guarapuava-PR, safra da seca 2009