

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

**SELEÇÃO DE LINHAGENS DE FEIJÃO DE ALTO  
DESEMPENHO AGRONÔMICO E  
BIOFORTIFICADAS PARA POTÁSSIO, FÓSFORO,  
ZINCO E COBRE**

**TESE DE DOUTORADO**

**Sandra Maria Maziero**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2014**

**SELEÇÃO DE LINHAGENS DE FEIJÃO DE ALTO  
DESEMPENHO AGRONÔMICO E BIOFORTIFICADAS PARA  
POTÁSSIO, FÓSFORO, ZINCO E COBRE**

**Sandra Maria Maziero**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Agronomia**.

**Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Nerinéia Dalfollo Ribeiro**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2014**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Maziero, Sandra Maria

Seleção de linhagens de feijão de alto desempenho agrônômico e biofortificadas para potássio, fósforo, zinco e cobre / Sandra Maria Maziero.-2014.

76 p.; 30cm

Orientadora: Nerinéia Dalfollo Ribeiro

Coorientadores: Alberto Cargnelutti Filho, Lindolfo Storck

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, RS, 2014

1. Phaseolus vulgaris L. 2. Caracteres agrônômicos 3. Concentração de minerais 4. Parâmetros genéticos 5. Índices de seleção I. Ribeiro, Nerinéia Dalfollo II. Cargnelutti Filho, Alberto III. Storck, Lindolfo IV. Título.

---

© 2014

Todos os direitos autorais reservados a Sandra Maria Maziero. A reprodução de qualquer parte deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.

Endereço: Linha Londero Moro, Interior, S/N, Ivorá - RS, 98160-000.

Endereço eletrônico: maziero.sandra@gmail.com

---

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Tese de Doutorado

**SELEÇÃO DE LINHAGENS DE FEIJÃO DE ALTO DESEMPENHO  
AGRONÔMICO E BIOFORTIFICADAS PARA POTÁSSIO, FÓSFORO,  
ZINCO E COBRE**

elaborada por  
**Sandra Maria Maziero**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Doutor em Agronomia**

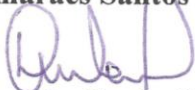
**COMISSÃO EXAMINADORA:**



**Nerinéia Dalfollo Ribeiro, Dr<sup>a</sup>.**  
(Presidente/Orientadora)



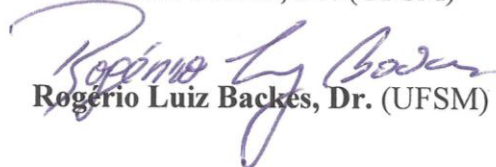
**Patrícia Guimarães Santos Melo, Dr<sup>a</sup>.** (Universidade Federal de Goiás)



**Leonardo Cunha Melo, Dr.** (Embrapa Arroz e Feijão)



**Lindolfo Storck, Dr.** (UFSM)



**Rogério Luiz Backes, Dr.** (UFSM)

Santa Maria, 15 de agosto de 2014.

## **DEDICO**

Ao meus queridos e amados pais: Euzébio Maziero e Ilair Letícia Maziero.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, que está sempre presente em todos os momentos da minha vida, iluminando meus caminhos.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia pela oportunidade de realização do curso de Doutorado. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

À minha orientadora, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Nerinéia Dalfollo Ribeiro, pela orientação, pelo apoio, pela credibilidade e pelas sugestões dadas para a realização desse trabalho.

A Associação Sulina de Crédito e Assistência Rural (ASCAR - EMATER/RS) pela liberação para a conclusão das disciplinas do doutorado.

Ao Departamento de Fitotecnia, nas pessoas do professor Sandro Luís Petter Medeiros pela disponibilização do laboratório Núcleo de Pesquisa em Ecofisiologia (NUPEC) e aos professores Lia Rejane Silveira Reiniger e Jerônimo Luiz Andriolo pelo empréstimo de equipamentos e materiais necessários para as análises laboratoriais de minerais.

Aos meus co-orientadores Prof. Dr. Alberto Cargnelutti Filho e Prof. Dr. Lindolfo Storck, pela amizade e pelos preciosos ensinamentos que muito auxiliaram nas análises estatísticas dos dados e na redação deste trabalho.

Aos colegas e sempre amigos do “Setor de Melhoramento de Plantas” pelo companheirismo e pela colaboração na condução do trabalho, em especial ao Evandro Jost, a Michele Thaise Della Flora Possobom e a Daniele Piano Rosa.

A meu pai, Euzebio Maziero, pela ajuda na condução dos experimentos de campo, nas avaliações pós-colheita e nas análises laboratoriais.

Aos meus amigos e familiares pelo carinho, incentivo e apoio. Em especial as minhas “segundas famílias”: Alciro, Anadir, Diana e Claudia Maziero; José Alencar, Eli, Juliana e Taisa Cargnelutti e Lia, Luis Eduardo, Marcela Reiniger e Maria Zebina Silveira.

As pessoas maravilhosas que sempre me hospedaram em seus lares nesses quase dois anos de idas a Santa Maria: Lia Silveira Reiniger, Juliana Felipetto Cargnelutti, Kelen Souto Muller, Micheli Thaise Della Flora Possobom, Patrícia Medianeira Grigoletto Londero, Marina Segala e Nerinéia Dalfollo Ribeiro.

Enfim, a todas as pessoas que contribuíram de alguma forma para que esse trabalho fosse realizado. **Meu muito obrigada!**

*“A persistência é o menor caminho do êxito.”*

*(Charles Chaplin)*

## RESUMO

Tese de Doutorado  
Programa de Pós-graduação em Agronomia  
Universidade Federal de Santa Maria

### **SELEÇÃO DE LINHAGENS DE FEIJÃO DE ALTO DESEMPENHO AGRONÔMICO E BIOFORTIFICADAS PARA POTÁSSIO, FÓSFORO, ZINCO E COBRE**

AUTORA: SANDRA MARIA MAZIERO

ORIENTADORA: NERINÉIA DALFOLLO RIBEIRO

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 15 de agosto de 2014.

Considerando a expansão do cultivo de feijão para as grandes áreas mecanizadas e a necessidade de biofortificação de alimentos básicos consumidos pela população brasileira, para minimizar as deficiências minerais, a obtenção de linhagens de feijão com alto desempenho agronômico e com maior concentração de minerais nos grãos representam avanços tecnológicos para a cultura. Assim, os objetivos deste estudo foram: (1) obter estimativas de parâmetros genéticos para os caracteres morfológicos, fenológicos, da produção e nutricionais em quatro populações biofortificadas de feijão em geração  $F_{6,8}$ ; (2) verificar a eficiência de diferentes estratégias de seleção, seleção direta e índices de seleção, com a adoção de pesos econômicos equivalentes ao coeficiente de variação genético (CVg) e proporcionais a um ganho de 10% na média para cada caractere, sem restrição, e também com restrição para obter ganhos em apenas um dos minerais; e (3) selecionar linhagens de feijão de alto desempenho agronômico, quanto a arquitetura ereta e à produtividade de grãos, e biofortificadas quanto as concentrações de potássio, de fósforo, zinco e cobre nos grãos. Para tanto, um total de 160 linhagens de feijão em geração  $F_{6,8}$  e nove genitores foram avaliados em dois experimentos conduzidos em delineamento látice simples nos cultivos de safra 2012/2013 e de safrinha 2013, em Santa Maria/RS. Os caracteres nota de acamamento, altura de inserção da primeira e da última vagem, ciclo, número de vagens e de grãos por planta, massa de 100 grãos, produtividade de grãos e concentração de potássio, fósforo, zinco e cobre nos grãos foram avaliados e os parâmetros genéticos foram estimados em cada uma das quatro populações biofortificadas. Para a seleção simultânea, as estratégias testadas foram: seleção direta, índice clássico, índice base, índice livre de pesos e parâmetros, índice baseado nos ganhos desejados, índice multiplicativo e índice baseado na soma de "ranks". Interação linhagem x ambiente significativa foi observada para a maioria dos caracteres, com exceção da concentração de potássio, fósforo e cobre nos grãos. Variabilidade genética não foi obtida apenas para a concentração de cobre nos grãos. Os caracteres massa de 100 grãos e produtividade de grãos apresentam alta herdabilidade em geração  $F_{6,8}$  em todas as populações avaliadas. Os caracteres nota de acamamento, altura de inserção da primeira vagem, ciclo, número de vagens por planta e número de grãos por planta foram de moderada a alta herdabilidade. Os demais caracteres apresentam herdabilidade de baixa a alta magnitude, a exceção da concentração de potássio e de zinco nos grãos que exibem de baixa a moderada herdabilidade. A seleção direta possibilitou alto ganho de seleção para caracteres individuais, mas provocou alterações indesejáveis nos demais caracteres sob seleção. O índice multiplicativo é a melhor estratégia de seleção simultânea para identificar linhagens de feijão de arquitetura ereta, alta produtividade de grãos e alta concentração de potássio, fósforo e zinco nos grãos. As linhagens L 72, L97, L 137 e L 146 são promissoras e continuarão em avaliação pelo programa de melhoramento.

**Palavras-chave:** *Phaseolus vulgaris* L. Caracteres morfológicos. Caracteres fenológicos. Caracteres da produção. Concentração de minerais. Parâmetros genéticos. Índices de seleção.



## ABSTRACT

PhD Thesis  
Agronomy Post-graduation Program  
Santa Maria Federal University

### SELECTION OF COMMON BEAN LINES OF HIGH AGRONOMIC PERFORMANCE AND BIOFORTIFIED FOR POTASSIUM, PHOSPHORUS, ZINC AND COPPER

AUTHOR: SANDRA MARIA MAZIERO

ADVISER: NERINÉIA DALFOLLO RIBEIRO

Place and Date of the Defense: Santa Maria, August 15<sup>th</sup>, 2014.

Considering the expansion of grown of common bean for large mechanized areas and the need of biofortification of basic foods consumed by the Brazilian population, to minimize minerals deficiencies, obtaining common bean lines with high agronomic performance and higher minerals concentration in the grains represents technological advances for the culture. The objectives of this study were: (1) to estimate the genetic parameters for morphological, phenological, grain yield and nutritional characters in four biofortified populations of common bean in F<sub>6.8</sub> generation; (2) assess the effectiveness of different selection strategies, direct selection and selection indexes, with the adoption of economic weights equivalent to coefficient of genetic variation (CVg) and proportional to a gain of 10% in average for each character, without restriction and also restriction to gains in only one of the mineral; and (3) to select common beans lines of high agronomic performance, as erect architecture and grain yield, and biofortified for potassium, phosphorus, zinc and copper concentrations in grains. Thus, a total of 169 common beans lines in F<sub>6.8</sub> generation were evaluated in two experiments in a simple lattice design in the rainy season 2012/2013 and dry season 2013, in Santa Maria/RS. The following traits: note lodging, general adaptation note, insertion height of the first and last pod, cycle, number of pods and grains per plant, weight of 100 grains, grain yield and potassium, phosphorus, zinc and copper concentrations in grains were evaluated and the genetic parameters were estimated in each biofortification population. For simultaneous selection were tested selection indexes: direct selection, classical index, base index, parameters and weights-free index, based on desired gains index, multiplicative index and the "ranks" sum index. Significant line x environment interaction was observed for most of the characters, except for potassium, phosphorus and copper concentrations in grains. Genetic variability has not been obtained only for the copper concentration in grains. The weight of 100 grains and grain yield show high heritability in F<sub>6.8</sub> generation in all populations studied. The characters of note lodging, height of the first pod, cycle, number of pods per plant and number of grains per plant were from moderate to high heritability. The others characters have from low to high heritability, except for the potassium and zinc concentrations in grains that exhibit from low to moderate heritability. The direct selection enabled high gain selection for individual characters, but caused undesirable changes in other characters under selection. The multiplicative index is the best strategy for simultaneous selection for the identification of common beans lines for erect architecture, high grain yield and high potassium, phosphorus and zinc concentration in grains. The L92, L 97, L 137 and L 146 lines are promising and remain under evaluation by the breeding program.

**Key-words:** *Phaseolus vulgaris* L. Morphological characters. Phenological characters. Characters of the production. Mineral concentration. Genetic parameters. Selection indexes.

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO 1

- TABELA 1 – Análise de variância conjunta para os caracteres nota de acamamento (AC), altura de inserção da primeira vagem (A1V, cm), altura de inserção da última vagem (AUV, cm), ciclo (dias), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), massa de 100 grãos (M100G, g), produtividade de grãos (PROD, kg ha<sup>-1</sup>), concentração de potássio (K, g kg<sup>-1</sup> de matéria seca - MS), de fósforo (P, g kg<sup>-1</sup> de MS), de zinco (Zn, mg kg<sup>-1</sup> de MS) e de cobre (Cu, mg kg<sup>-1</sup> de MS) nos grãos, de 160 linhagens de feijão e nove parentais avaliados nos cultivos de safra e de safrinha. Santa Maria - RS, UFSM, 2014..... 41
- TABELA 2 – Parâmetros genéticos para os caracteres nota de acamamento (AC), altura de inserção da primeira vagem (A1V, cm), altura de inserção da última vagem (AUV, cm), ciclo (dias), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), massa de 100 grãos (M100G, g), produtividade de grãos (PROD, kg ha<sup>-1</sup>), concentração de potássio (K, g kg<sup>-1</sup> de matéria seca - MS), de fósforo (P, g kg<sup>-1</sup> de MS), de zinco (Zn, mg kg<sup>-1</sup> de MS) e de cobre (Cu, mg kg<sup>-1</sup> de MS) nos grãos em cada população de feijão (segregante para potássio – P 1, para fósforo – P 2, para zinco – P 3 e para cobre – P 4) avaliadas no cultivos de safra e de safrinha. Santa Maria - RS, UFSM, 2014..... 42
- TABELA 3 – Valores médios de populações e de parentais para os caracteres nota de acamamento (AC), altura de inserção da primeira vagem (A1V, cm), altura de inserção da última vagem (AUV, cm), ciclo (dias), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), massa de 100 grãos (M100G, g), produtividade de grãos (PROD, kg ha<sup>-1</sup>), concentração de potássio (K, g kg<sup>-1</sup> de matéria seca - MS), de fósforo (P, g kg<sup>-1</sup> de MS) e de zinco (Zn, mg kg<sup>-1</sup> de MS) avaliados nos cultivos de safra e de safrinha. Santa Maria - RS, UFSM, 2014..... 43

### ARTIGO 2

- TABELA 1 – Análise de variância conjunta contendo os quadrados médios, média, coeficiente de variação experimental (CV, %) e eficiência do delineamento látice (%) para os caracteres altura de inserção da primeira vagem (A1V, cm), produtividade de grãos (PROD, kg ha<sup>-1</sup>), concentração de potássio (K, g kg<sup>-1</sup> de matéria seca - MS), de fósforo (P, g kg<sup>-1</sup> de MS), de zinco (Zn, mg kg<sup>-1</sup> de MS) e de cobre nos grãos

(Cu, mg kg<sup>-1</sup> de MS) de 169 linhagens de feijão, avaliadas nos cultivos de safra e de safrinha. Santa Maria - RS, UFSM, 2014..... 60

TABELA 2 – Coeficientes de correlação Pearson entre os caracteres altura de inserção da primeira vagem (A1V), produtividade de grãos (PROD), concentração de potássio (K), de fósforo (P) e de zinco nos grãos (Zn) obtidos em 169 linhagens de feijão avaliadas nos cultivos de safra e de safrinha. Santa Maria - RS, UFSM, 2014..... 61

TABELA 3 – Ganhos de seleção (%) com a seleção direta, ganhos indiretos (%) e ganhos de seleção para os caracteres altura de inserção da primeira vagem (A1V, cm), produtividade de grãos (PROD, kg ha<sup>-1</sup>), concentração de potássio (K, g kg<sup>-1</sup> de matéria seca - MS), de fósforo (P, g kg<sup>-1</sup> de MS) e de zinco nos grãos (Zn, mg kg<sup>-1</sup> de MS), a partir da seleção de 17 linhagens (10% das linhagens) das 169 linhagens de feijão avaliadas nos cultivos de safra e de safrinha. Santa Maria - RS, UFSM, 2014..... 62

TABELA 4 – Ganhos de seleção esperados (%) com a seleção simultânea dos caracteres altura de inserção da primeira vagem (A1V), produtividade de grãos (PROD), concentração de potássio (K), de fósforo (P) e de zinco nos grãos (Zn), a partir da seleção de 17 linhagens (10% das linhagens) das 169 linhagens de feijão avaliadas nos cultivos de safra e de safrinha. Santa Maria - RS, UFSM, 2014..... 63

TABELA 5 – Linhagens selecionadas pelos índices clássico (peso econômico equivalente a um ganho de 10% na média), base (peso econômico equivalente a um ganho de 10% na média), ganhos desejados (peso econômico equivalente ao CVg e a um ganho de 10% na média), multiplicativo e soma de “ranks” (peso econômico equivalente ao CVg) com os melhores resultados na seleção simultânea para os caracteres altura de inserção da primeira vagem (A1V), produtividade de grãos (PROD), concentração de potássio nos grãos (K), de fósforo (P) e de zinco nos grãos (Zn), a partir da seleção de 17 linhagens (10% das linhagens) das 169 linhagens de feijão avaliadas nos cultivos de safra e de safrinha. Santa Maria - RS, UFSM, 2014..... 64

TABELA 6 – Média das melhores linhagens de feijão comuns identificadas pelos índices de seleção e dos parentais para os caracteres altura de inserção da primeira vagem (A1V, cm), produtividade de grãos (PROD, kg ha<sup>-1</sup>), concentração de potássio (K, g kg<sup>-1</sup> de matéria seca - MS), de fósforo (P, g kg<sup>-1</sup> de MS) e de zinco nos grãos (Zn, mg kg<sup>-1</sup> de MS) avaliadas nos cultivos de safra e de safrinha. Santa Maria - RS, UFSM, 2014..... 65

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2 ARTIGO 1 - PARÂMETROS GENÉTICOS PARA CARACTERES AGRONÔMICOS E NUTRICIONAIS EM LINHAGENS DE DIFERENTES POPULAÇÕES DE FEIJÃO.....</b>	<b>21</b>
<b>Resumo.....</b>	<b>21</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>22</b>
<b>2.1 Introdução.....</b>	<b>22</b>
<b>2.2 Material e métodos.....</b>	<b>24</b>
<b>2.3 Resultados e discussão.....</b>	<b>28</b>
<b>2.4 Conclusões.....</b>	<b>36</b>
<b>2.5 Agradecimentos.....</b>	<b>36</b>
<b>2.6 Referências.....</b>	<b>36</b>
<b>3 ARTIGO 2 - SELEÇÃO SIMULTÂNEA EM FEIJÃO PARA ARQUITETURA ERETA, ALTA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E ALTA CONCENTRAÇÃO DE MINERAIS .....</b>	<b>44</b>
<b>Resumo.....</b>	<b>44</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>45</b>
<b>3.1 Introdução.....</b>	<b>45</b>
<b>3.2 Material e métodos.....</b>	<b>47</b>
<b>3.3 Resultados e discussão.....</b>	<b>50</b>
<b>3.4 Conclusões.....</b>	<b>56</b>
<b>3.5 Agradecimentos.....</b>	<b>57</b>
<b>3.6 Referências.....</b>	<b>57</b>
<b>4 DISCUSSÃO.....</b>	<b>66</b>
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>70</b>
<b>6 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>71</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A produção brasileira de feijão, na safra 2012/2013, foi de 2,8 milhões de toneladas, em uma área cultivada de 3,1 mil hectares. A maior produtividade média de grãos foi observada na região Centro-oeste (1.637 kg ha<sup>-1</sup>), seguida das regiões Sudeste (1.461 kg ha<sup>-1</sup>) e Sul (1.398 kg ha<sup>-1</sup>) (CONAB, 2014). De acordo com essa mesma fonte, o Estado do Rio Grande do Sul foi responsável pela produção de 94,7 mil toneladas, com uma produtividade média de grãos de 1.330 kg ha<sup>-1</sup>.

O cultivo de feijão é realizado em três épocas: (1) primeira safra ou safra das “águas” ou safra, com semeadura realizada entre os meses de agosto e outubro, concentrando-se nos Estados da região Sul e Sudeste; (2) segunda safra ou safra da “seca” ou safrinha, com semeadura durante o período de janeiro a março, abrangendo todos os Estados brasileiros e, portanto, apresentando maior área semeada; e (3) terceira safra ou safra de “inverno”, com semeadura entre os meses de abril a julho, concentrando-se na região Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste (ARAÚJO et al., 1996). Assim, a oferta do produto no mercado é praticamente constante ao longo do ano.

Os sistemas de produção utilizados no cultivo de feijão são bem diversificados. Considerado como de subsistência em pequenas propriedades; já, em grandes propriedades tem a produção voltada à comercialização, em que há o emprego de alta tecnologia, como pivô central, controle fitossanitário e colheita mecanizada. Deste modo, o desenvolvimento de cultivares de feijão com alto desempenho agrônômico é importante para as pequenas e as grandes aéreas.

Tanto a colheita manual quanta a mecanizada são favorecidas pela arquitetura ereta das plantas (MENDES et al., 2009). Para o melhoramento do porte, a avaliação por meio de notas tem sido a mais empregada (COLLICCHIO et al., 1997; MENEZES JUNIOR et al., 2008; MENDES et al., 2009; SILVA et al., 2009; JOST et al., 2014). Em ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU), a escala de acamamento, proposta pelo Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT, 1987) foi adequada para descartar visualmente linhagens inferiores de feijão (MAZIERO et al., 2010).

Outro caractere que pode ser pertinente para o melhoramento da arquitetura em feijão é a altura de inserção da primeira vagem, pois maiores alturas contribuem para a conservação da qualidade dos grãos, pelo menor contato das vagens com o solo (COLLICCHIO et al., 1997; MENDES et al., 2009). Em gerações avançadas de feijão (geração F<sub>7</sub>), Jost et al. (2014)

verificaram herdabilidade moderada para os caracteres nota de acamamento e altura de inserção da primeira vagem, indicando que ganhos para arquitetura podem ser obtidos em gerações avançadas.

Visando, também, incentivar a produção e favorecer a inserção do feijão em sistemas de rotação de culturas, a obtenção de cultivares de ciclo precoce, ou seja, com colheita realizada em até 70 dias após a emergência, é desejável. Além disso, o ciclo precoce pode propiciar o escape de estresse climático, a obtenção de maior preço de venda devido à colheita antecipada e a redução do consumo de água, no caso dos cultivos irrigados (BURATTO et al., 2007). Contudo, dificuldades na seleção de linhagens precoces de feijão são esperadas, devido a baixa herdabilidade do caractere observado em geração avançada ( $F_7$ ) (JOST et al., 2014) e por ser um caractere muito influenciado pelo ambiente (RIBEIRO et al., 2004).

A produtividade de grãos é um caractere que tem sido exaustivamente pesquisado na cultura do feijão. Pela sua natureza quantitativa, sendo um caractere muito influenciado pelo ambiente, com muitos genes envolvidos na sua expressão, a seleção e a obtenção de cultivares mais produtivas é um processo que apresenta dificuldades em feijão (TORGA et al., 2010). Pelo estudo das correlações entre caracteres, a seleção de cultivares mais produtivas pode ser feita baseada em outros caracteres que se correlacionam positivamente com a produtividade de grãos. Lana et al. (2003) estimaram a correlação dos componentes da produtividade (número de vagens por planta, número de grãos por vagem e massa de 100 grãos) com a produtividade de grãos e verificaram que o número de vagens por planta é o caractere de maior potencial a ser utilizado no processo de seleção indireta para a produtividade de grãos.

Analisando os coeficientes de trilha entre caracteres primários (número de grãos por vagem, massa de 100 grãos, número de vagens por planta e número de grãos por planta) e caracteres secundários (número de dias entre a germinação e a floração, número de dias entre a emergência e a maturação de colheita, estatura da planta e altura da inserção da primeira vagem) sobre a produtividade de grãos de linhagens de feijão, Cabral et al. (2011) constataram que o número de vagens por planta, a massa de 100 grãos e o número de grãos por vagem foram os caracteres mais promissores para a seleção indireta. Sendo que, o número de vagens por planta foi o caractere primário com maior efeito direto sobre a produtividade de grãos ( $r=1,00$ ), corroborando com Lana et al. (2003).

Cargnelutti Filho et al. (2011), também, verificaram que o número de grãos por vagem foi a variável de maior efeito direto sobre a produtividade de grãos ( $r=0,83$ ), ao avaliarem os coeficientes de trilha entre os componentes da produtividade (número de vagens por planta, número de grãos por vagem e massa de 100 grãos) e a produtividade de grãos de cultivares de

feijão. Contudo, é importante ressaltar que os resultados da análise de trilha variam dependendo do conjunto de variáveis explicativas utilizadas (CRUZ; REGAZZI, 1997).

Além do desempenho agrônômico, a biofortificação dos grãos de feijão, quanto à concentração de minerais, tem sido tema de vários trabalhos de pesquisa (MORAGHAN; GRAFTON, 2001; MESQUITA et al., 2007; ROSA et al., 2010; POERSCH et al., 2011; RIBEIRO et al., 2011; SILVA et al., 2012; POERSCH et al., 2013; RIBEIRO et al., 2013, JOST et al., 2014). A biofortificação consiste no aumento da concentração de minerais em porções comestíveis das plantas (DWIVEDIS et al., 2012). E mundialmente, o foco principal tem sido o aumento da concentração de ferro e de zinco (BLAIR, 2013). Além disso, o feijão se sobressai aos cereais quanto à concentração de nutrientes por possuir uma alta concentração de minerais e também por não necessitar de polimento antes do consumo (WELCH et al., 2000).

As deficiências de minerais são comuns, pois o ser humano requer, em sua alimentação, a ingestão de mais de 20 minerais; esses são supridos pela alimentação, só que nem sempre os alimentos ingeridos possuem quantidades adequadas de minerais ou a biodisponibilidade é baixa (PFEIFFER; MCCLAFFERTY, 2007). Os minerais são essenciais à manutenção de várias funções fisiológicas no organismo humano. O potássio destaca-se como o cátion predominante no interior da célula, exercendo papel relevante como catalisador no metabolismo dos glicídios e no armazenamento do glicogênio e das proteínas, sendo, também, responsável pela regulação do potencial osmótico da célula, juntamente com o sódio (FRANCO, 2005). O fósforo está relacionado com a mineralização de ossos e de dentes (COZZOLINO, 2007; OLIVEIRA, 2007).

O zinco, por sua vez, participa de muitas reações do metabolismo celular, incluindo processos fisiológicos, tais como função imune, defesa antioxidante, crescimento e desenvolvimento, sendo um co-fator de mais de 300 enzimas (CUNHA; CUNHA, 1998; SZCKUREK et al., 2001). O cobre é essencial, em diversas funções orgânicas, como na mobilização do ferro para a síntese de hemoglobina, produção de energia mitocondrial e síntese de melanina (MAHAN; ESCOTT-STUMP, 1998). Portanto, a deficiência desses minerais irá gerar desequilíbrios no organismo humano, trazendo sérios problemas de saúde.

Na literatura, diversos autores observaram variabilidade genética para a concentração de potássio, fósforo, zinco e cobre nos grãos de feijão (MORAGHAN; GRAFTON, 2001; BARAMPAMA; SIMARD, 1993; MESQUITA et al., 2007; SILVA et al., 2012; RIBEIRO et al., 2013). Deste modo, a seleção de linhagens biofortificadas é possível. Em Burundi, um pequeno país da África, valores de 4,42 a 6,31 g de potássio  $\text{kg}^{-1}$  de matéria seca (MS), de

3,60 a 6,55 g de fósforo  $\text{kg}^{-1}$  de MS, de 63,5 a 87,9 mg de zinco  $\text{kg}^{-1}$  de MS e de 7,00 a 12,80 mg de cobre  $\text{kg}^{-1}$  de MS foram verificados em grãos de quatro cultivares de feijão (BARAMPAMA; SIMARD, 1993). Em cultivares americanas, cultivadas em diferentes locais dos Estados da Dakota do Norte e de Minnesota, nos Estados Unidos, foram observadas valores de concentrações de potássio, de fósforo e de zinco de 15,4 a 16,9 g  $\text{kg}^{-1}$ , de 4,5 a 5,4 g  $\text{kg}^{-1}$  e 23 a 32 mg  $\text{kg}^{-1}$ , respectivamente (MORAGHAN; GRAFTON, 2001).

No Brasil, Mesquita et al. (2007) avaliaram 21 linhagens e observaram amplitude de 15,10 a 24,80 g de potássio  $\text{kg}^{-1}$  de MS, de 4,50 a 7,20 g de fósforo  $\text{kg}^{-1}$  de MS, de 36,67 a 63,90 mg de zinco  $\text{kg}^{-1}$  de MS e de 11,37 a 17,73 mg de cobre  $\text{kg}^{-1}$  MS. Silva et al. (2012), avaliando 100 linhagens de feijão, verificaram valores de concentração de potássio variando entre 14,5 a 20,6 g  $\text{kg}^{-1}$ , de fósforo entre 6,2 a 6,9 g  $\text{kg}^{-1}$ , de zinco entre 29,33 a 65,50 mg  $\text{kg}^{-1}$  e de cobre entre 5,76 a 15,99 mg  $\text{kg}^{-1}$ .

Em geração precoce foram obtidas estimativas de herdabilidade em sentido restrito de moderada (43,05%) a baixa magnitude (33,26%) para a concentração de potássio nos grãos de feijão (POERSCH et al., 2011). De acordo com esses autores, a concentração de potássio em feijão apresenta herança quantitativa e, portanto, se esperam dificuldades para a obtenção de ganhos de seleção em virtude do pronunciado efeito do ambiente na expressão desse mineral. Para a concentração de fósforo nos grãos de feijão, estimativas de herdabilidade em sentido restrito de alta (61,99%) a baixa magnitude (21,37%) foram observadas em gerações precoces (RIBEIRO et al., 2011).

Para as concentrações de zinco e de cobre nos grãos de feijão foram verificadas estimativas de herdabilidade em sentido restrito de alta a moderada magnitude, de 77,84 a 57,46% (ROSA et al., 2010) e de 61,99 a 51,98% (POERSCH et al., 2013), respectivamente, sugerindo facilidades para se obter ganhos por seleção. Como a variância aditiva foi responsável pela maior parte da variância genética, a fixação das concentrações de zinco e de cobre poderá ser observada em gerações avançadas. No melhoramento genético do feijão a variância aditiva é de grande importância, pois é fixada com a autofecundação, possibilitando o êxito na seleção em populações segregantes (CARVALHO et al., 2001).

Para a concentração de potássio nos grãos de feijão, em geração precoce, foi constatada dominância parcial para baixa concentração de potássio (POERSCH et al., 2013). Para as concentrações de fósforo, de zinco e de cobre em grãos de feijão foi observada segregação transgressiva (desempenho da geração  $F_2$  é superior aos genitores) (ROSA et al., 2010; POERSCH, 2011; RIBEIRO et al., 2011). Esses autores obtiveram estimativas de



ganhos de seleção de 19,17, 37,26 e 46,78% para as concentrações de fósforo, de zinco e de cobre, respectivamente, em grãos de feijão.

Considerando a etapa de seleção do melhoramento de plantas, várias estratégias podem ser usadas, entre elas a seleção direta e os índices de seleção. Visando a seleção de linhagens superiores para determinado caractere, a seleção direta proporcionou ganhos satisfatórios no caractere sob seleção nas culturas do feijão caupi (SANTOS; ARAÚJO, 2001), do café (FERREIRA et al., 2005), da alfafa (VASCONCELOS et al., 2010), do milho (BERILLI et al., 2013) e do feijão (JOST et al., 2013). Nesses casos, respostas desfavoráveis foram observadas nos demais caracteres, reduzindo a eficiência da seleção direta na seleção simultânea de caracteres. Em função disso, os índices de seleção são ferramentas que podem ser utilizadas pelos melhoristas para estimar ganhos de seleção e identificar linhagens superiores.

Vários índices de seleção foram descritos por Cruz e Regazzi (1997) e por Cruz e Carneiro (2006), sendo que esses foram eficientes na seleção de linhagens superiores nas culturas do feijão caupi (SANTOS; ARAÚJO, 2001), da soja (COSTA et al., 2004), do café (FERREIRA et al., 2005), da alfafa (VASCONCELOS et al., 2010), do feijão (BERTOLDO et al., 2010; JOST et al., 2013), do milho (BERILLI et al., 2013) e da cana-de-açúcar (ALMEIDA et al., 2014). A maioria dos índices necessita que pesos econômicos sejam atribuídos aos caracteres, ou seja, a importância que cada caractere deverá ser estipulada. Desta forma, o melhorista pode priorizar os caracteres que julga de maior importância dentro do conjunto de caracteres avaliados. Os pesos econômicos podem ser estimados a partir dos próprios dados experimentais e devem ser estabelecidos respeitando-se a proporcionalidade entre os caracteres (BAKER, 1986; CRUZ, 1990).

Os índices de seleção podem ser utilizados para maximizar o ganho em todos os caracteres avaliados, sem haver restrição. Já, os índices de seleção com restrição são utilizados quando se busca maximizar o ganho em um conjunto de caracteres; enquanto que, nos outros conjuntos de caracteres não podem ocorrer ganhos ou esse ganho deve ser fixado em níveis pré-estabelecidos (CRUZ; CARNEIRO 2006).

Tanto na seleção direta quanto nos índices de seleção o ganho por seleção é estimado por:  $GS_i = (\bar{X}_{si} - \bar{X}_{oi})h_i^2 = DS_i h_i^2$ , em que:  $GS_i$  é o ganho de seleção esperado no i-ésimo caractere (%);  $\bar{X}_{si}$  é a média das linhagens selecionadas para o caractere i;  $\bar{X}_{oi}$  é a média original da população;  $DS_i$  é o diferencial de seleção praticado na população; e  $h_i^2$  é a herdabilidade do caractere i.

O índice clássico (SMITH, 1936; HAZEL, 1943) é uma combinação linear de caracteres, com coeficientes de ponderação estimados de modo a maximizar a correlação entre o índice e o agregado genotípico. Este agregado genotípico é estabelecido por uma outra combinação linear, que envolve os valores genéticos, os quais são ponderados por seus respectivos pesos econômicos. O índice (I) e o agregado genotípico (H) são descritos por:

$$I = b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n = \sum_{i=1}^n b_i x_i = b'x ;$$

$$H = a_1g_1 + a_2g_2 + \dots + a_ng_n = \sum_{i=1}^n a_i g_i = a'g .$$

Em que: n: número de caracteres avaliados; b': vetor de dimensão n x 1 dos coeficientes de ponderação do índice, a serem estimados; x: matriz de dimensão p x n de médias dos caracteres; a': vetor de dimensão n x 1 de pesos econômicos previamente estabelecidos; g: matriz de dispersão p x n de valores genéticos desconhecidos dos n caracteres. Deste modo, tem-se o vetor  $b = P^{-1}Ga$ , em que  $P^{-1}$  é o inverso da matriz, de dimensão n x n, de variâncias e covariâncias fenotípicas entre os caracteres; G é a matriz, de dimensão n x n, de variâncias e covariâncias genéticas entre os caracteres.

O índice base (WILLIAMS, 1962) foi criado para evitar a interferência da imprecisão das matrizes de covariância fenotípicas e genotípicas na estimação dos coeficientes que compõem o índice. Esse índice é obtido mediante a combinação linear dos valores fenotípicos médios dos caracteres, os quais são ponderados diretamente pelos seus respectivos pesos econômicos, em que:  $I_b = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n = a'x$ ; em que: x e a são vetores n x 1, cujos elementos são as médias e os pesos econômicos dos caracteres estudados, respectivamente.

No índice baseado nos ganhos desejados (PESEK; BAKER, 1969) deve-se considerar a expressão do ganho esperado para os caracteres, definida por:  $\Delta g = \frac{G\hat{b}_i}{\hat{\sigma}_I}$  em que:  $\Delta g$  é o vetor dos ganhos estimados, por  $\Delta g_d$ , que é o vetor dos ganhos desejados e eliminando-se o escalar  $\frac{i}{\hat{\sigma}_I}$ , que não afeta a proporcionalidade dos coeficientes b's proporcionarão a maximização dos ganhos em cada caractere, baseando-se na especificação dos ganhos desejados. Esse índice foi criado pela dificuldade de se estabelecer pesos econômicos com precisão, assim esses poderiam ser substituídos pelos ganhos desejados pelo melhorista para cada caractere.

O índice baseado na soma de “ranks” (MULAMBA; MOCK, 1978) consiste em classificar as linhagens em relação a cada um dos caracteres, em ordem favorável ao melhoramento. A seguir são somadas as ordens de cada linhagem resultado no índice de seleção, como segue:  $I = r_1 + r_2 + \dots + r_n$ , sendo que  $I$  é o valor do índice de determinada linhagem;  $r_j$  é a classificação ou “rank” de uma linhagem em relação ao  $j$ -ésimo caractere;  $n$  é o número de caracteres considerados no índice. Entretanto, pesos econômicos podem ser atribuídos para alterar a ordem de classificação dos caracteres. Assim tem-se que  $I = p_1 r_1 + p_2 r_2 + \dots + p_n r_n$ , em que  $p_j$  é o peso econômico atribuído ao  $j$ -ésimo caractere.

O índice livre de pesos e parâmetros (ELSTON, 1963) se caracteriza por eliminar a necessidade de se atribuir pesos econômicos e de estimar as variâncias e covariâncias fenotípicas e genotípicas. O índice é definido por:  $I_e = \omega_1 \omega_2 \dots \omega_n$  em que:  $\omega_j = x_j - k_j$ . O  $K_j$  é um valor mínimo ou máximo estabelecido pelo melhorista para o  $j$ -ésimo caractere.

No índice multiplicativo (SUBANDI et al., 1973), o índice é estabelecido da seguinte

forma:  $I_{Ei} = \log \prod_{j=1}^m (x_{ij} - k_j) = \log[(x_{i1} - k_1)(x_{i2} - k_2) \dots (x_{im} - k_n)]$ , em que:  $I_{Ei}$  denota o

índice multiplicativo;  $x_{ij}$  é a média do caractere  $j$ , mensurado na linhagem  $i$ , e  $k_{ij}$  é o menor

valor selecionável  $\left( k_j = \frac{n(\text{mín.}x_{ij}) - \text{máx.}x_{ij}}{n-1} \right)$ ;  $n$  é o número de linhagens; e  $\text{mín.}x_{ij}$  e

$\text{máx.}x_{ij}$  são a menor e a maior médias do caractere  $j$ , respectivamente.

Com o intuito de selecionar linhagens de feijão com alto desempenho agrônomico e maior concentração de potássio, de fósforo, de zinco e de cobre nos grãos, o presente estudo teve por objetivos: (1) obter estimativas de parâmetros genéticos para caracteres morfológicos, fenológicos, da produção e nutricionais em quatro populações biofortificadas de feijão em geração  $F_{6:8}$ ; (2) verificar a eficiência de diferentes estratégias de seleção, seleção direta e índices de seleção, com a adoção de pesos econômicos equivalentes ao coeficiente de variação genético (CVg) e proporcionais a um ganho de 10% na média para cada caractere, sem restrição, e também com restrição para obter ganhos em apenas um dos minerais; (3) selecionar linhagens de feijão com alto desempenho agrônomico, quanto à arquitetura ereta e à produtividade de grãos, e biofortificadas quanto as concentrações de potássio, de fósforo, de zinco e de cobre nos grãos.

A tese foi organizada em dois artigos científicos. O primeiro artigo “Parâmetros genéticos para caracteres agrônomicos e nutricionais em linhagens de diferentes populações

de feijão” é apresentado nas normas da revista Pesquisa Agropecuária Brasileira. O segundo artigo “Seleção simultânea em feijão para arquitetura ereta, alta produtividade de grãos e alta concentração de minerais” é apresentado nas normas da revista Euphytica.

## 2 ARTIGO 1

### **Parâmetros genéticos para caracteres agronômicos e nutricionais em linhagens de diferentes populações de feijão**

**Resumo** - O objetivo deste estudo foi obter estimativas de parâmetros genéticos para caracteres morfológicos, fenológicos, da produção e nutricionais em quatro populações de feijão bifortificadas para minerais. Para tanto, foram obtidas quatro populações biofortificadas para potássio, fósforo, zinco e cobre nos grãos, resultando em 160 linhagens em geração  $F_{6,8}$ . Essas linhagens e os nove parentais foram avaliados em cultivo de safra 2012 e de safrinha 2013, em Santa Maria/RS, em delineamento látice simples. Os parâmetros genéticos foram obtidos para os diferentes caracteres agronômicos e nutricionais em cada uma das populações. Interação linhagem x ambiente significativa foi observada para a maioria dos caracteres, com exceção da concentração de potássio, de fósforo e de cobre nos grãos. As populações avaliadas não apresentaram variabilidade genética para a concentração de cobre nos grãos. Os caracteres massa de 100 grãos e produtividade de grãos apresentam alta herdabilidade em geração  $F_{6,8}$  em todas as populações avaliadas. Os caracteres nota de acamamento, altura de inserção da primeira vagem, ciclo, número de vagens por planta e número de grãos por planta foram de moderada a alta herdabilidade. Os demais caracteres apresentam herdabilidade de baixa a alta magnitude, a exceção da concentração de potássio e de zinco nos grãos que exibem de baixa a moderada herdabilidade.

Termos de indexação: *Phaseolus vulgaris* L., interação linhagem x ambiente, desempenho agronômico, minerais, herdabilidade, seleção.

## Genetic parameters for agronomic and nutritional characters in common bean lines of different populations

**Abstract** - The objective of this study was to estimate genetic parameters for morphological, phenological, grain yield and nutritional characters for four common bean populations biofortified for minerals. To this end, four biofortified populations for potassium, phosphorus, zinc and copper in grains, resulting in 160 lines in F<sub>6:8</sub> generation were obtained. These lines and nine parents were evaluated in rainy season 2012/2013 and dry season 2013, in Santa Maria/RS, in simple lattice design. Genetic parameters were obtained for the agronomic and nutritional characters in each populations. Significant line x environment interaction was observed for most of the characters, except for potassium, phosphorus and copper concentrations in grains. The evaluated populations showed no genetic variability for copper concentration in grains. The mass of 100 grains and grain yield have high heritability in F<sub>6:8</sub> generation in all populations studied. The note of lodging, height of the first pod, cycle, number of pods per plant and number of grains per plant have from moderate to high heritability. The others characters have from low to high heritability, except for the potassium and zinc concentrations in grains showing from low to moderate heritability.

Index terms: *Phaseolus vulgaris* L., line x environment interaction, agronomic performance, minerals, heritability, selection.

### 2.1 Introdução

No Brasil, 2,8 mil toneladas de feijão foram produzidas na safra 2012, em uma área de 3,1 milhões de hectares (CONAB, 2014). Nesse cenário, o desenvolvimento de cultivares de feijão com arquitetura ereta favorece a colheita manual e a mecanizada, possibilitando a

redução de custos com a mão-de-obra na colheita e a realização do cultivo em grandes áreas (Mendes et al., 2009). Além disso, a associação da arquitetura ereta de planta com o ciclo precoce (com colheita realizada aos 70 dias, aproximadamente), favorece a inserção do feijão em sistemas de rotação de culturas, se obtém um maior preço de venda devido à colheita antecipada e se reduz o consumo de água em cultivos irrigados (Buratto et al., 2007). Adicionalmente, o melhoramento dos caracteres associados à produção é importante para maximizar a produção que pode ser obtida por área.

A biofortificação do feijão é uma estratégia importante para combater as deficiências minerais que afetam, aproximadamente, 50% das pessoas no mundo (Pfeiffer & McClafferty, 2007). Estudos preliminares mostraram que é possível aumentar em 19,17, 37,26 e em 46,78% a concentração de fósforo, de zinco e de cobre, respectivamente, em grãos de feijão por melhoramento genético (Rosa et al., 2010; Ribeiro et al., 2011; Poersch et al., 2013). Já, o aumento da concentração de potássio poderá ser dificultado em função do expressivo efeito do ambiente na expressão deste caráter (Poersch et al., 2011).

Para avaliar as possibilidades de sucesso na seleção de linhagens superiores de feijão quanto aos caracteres agronômicos e nutricionais, se faz necessário verificar a existência de variabilidade genética, para que seja possível praticar a seleção. Por isso, a obtenção de estimativas de parâmetros genéticos é importante para identificar a natureza da ação dos genes envolvidos no controle dos caracteres quantitativos, além de possibilitar a avaliação da eficiência de diferentes estratégias de melhoramento para a obtenção de ganhos genéticos e para a manutenção da variabilidade genética (Cruz & Carneiro, 2006).

Estimativas de parâmetros genéticos para caracteres morfológicos, fenológicos e da produção foram obtidos por Faleiro et al. (2002), Ribeiro et al. (2009) e Jost et al. (2014) em gerações avançadas de feijão. Jost et al. (2014) agregaram os caracteres nutricionais, concentração de cálcio e de ferro nos grãos, aos caracteres agronômicos e obtiveram

parâmetros genéticos em populações avançadas por diferentes métodos de condução de populações segregantes. Entretanto, essas estimativas de parâmetros genéticos foram obtidas em apenas um ambiente e foram restritas a poucos caracteres. Além disso, para as concentrações de potássio, de fósforo, de zinco e de cobre nos grãos de feijão, as estimativas de parâmetros genéticos são restritas a gerações precoces (Rosa et al., 2010; Poersch et al., 2011; Ribeiro et al., 2011; Poersch et al., 2013).

Estudos voltados a estimar parâmetros genéticos em linhagens de feijão para desempenho agrônômico associado à biofortificação dos grãos quanto às concentrações de potássio, fósforo, zinco e cobre, com dados obtidos em dois ambientes não foram encontrados na literatura em geração avançada. Portanto, o objetivo deste trabalho foi obter estimativas de parâmetros genéticos para caracteres morfológicos, fenológicos, da produção e nutricionais em quatro populações biofortificadas para minerais.

## **2.2 Material e Métodos**

As linhagens avaliadas foram obtidas a partir de cruzamentos controlados entre cultivares contrastantes para a concentração de: potássio, IAPAR 44 x Guapo Brilhante e BRS Expedito x BRS Valente (população 1 - P1) (Poersch et al., 2011); fósforo, Pérola x Guapo Brilhante e TPS Nobre x Guapo Brilhante (população 2 - P2) (Ribeiro et al., 2011); zinco, Pérola x Guapo Brilhante e TPS Nobre x Guapo Brilhante (população 3 - P3) (Rosa et al., 2010); e cobre, IAPAR 44 x IAPAR 31 e Diamante Negro x TPS Bonito (população 4 - P4) (Poersch et al., 2013).

As gerações segregantes foram avançadas até geração F<sub>6</sub> pelo método Descendência de uma Única Semente (SSD), em cultivo realizado em casa-de-vegetação, no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Em F<sub>6</sub> foram obtidas 72 plantas de cada uma das populações, totalizando 288 plantas. As sementes obtidas em cada uma



dessas plantas foram colhidas individualmente e armazenadas em sacos de papel em câmara fria (2°C e 70% de umidade relativa).

No cultivo de safra 2011 as 288 linhagens F<sub>6:7</sub> foram avaliadas, juntamente com os parentais, em delineamento de blocos aumentados, com quatro repetições. As linhagens foram os tratamentos regulares e, portanto, foram incluídas uma única vez em um dos blocos, e os parentais foram os tratamentos comuns, ou seja, foram incluídos uma vez em cada bloco do experimento. As parcelas foram constituídas de uma linha de 2 m de comprimento, espaçadas em 0,50 m, com 30 sementes. Nesta safra, devido ao ataque de lagarta-elasma (*Elasmopalpus lignosellus*), houve redução do estande de plantas e para algumas linhagens não foi obtida uma quantidade suficiente de sementes para compor os experimentos seguintes.

As linhagens F<sub>6:8</sub> foram avaliadas em cultivo de safra 2012 e de safrinha 2013, com semeadura em 27/10/2012 e em 02/03/2013, respectivamente. O delineamento utilizado foi o látice simples 15 x 15 no cultivo de safra e 13 x 13 no cultivo de safrinha. A parcela foi constituída de duas linhas de 1 m de comprimento, espaçadas em 0,50 m, com 15 sementes por metro linear. O experimento de safra foi composto por 225 tratamentos, sendo 212 linhagens F<sub>6:8</sub>, nove parentais e quatro cultivares testemunhas (BRS Campeiro, Carioca, FTS Magnífico e Rio Tibagi). O experimento de safrinha reuniu 169 tratamentos, sendo 160 linhagens F<sub>6:8</sub> e os nove parentais. No cultivo de safrinha, o número de tratamentos foi reduzido em função da falta de disponibilidade de sementes de algumas linhagens. Em ambos experimentos foram avaliados tratamentos comuns, sendo 40 linhagens de cada população (P1, P2, P3 e P4) e os parentais.

Todos os experimentos de campo foram instalados na área experimental do Programa de Melhoramento de Feijão, do Departamento de Fitotecnia da UFSM (latitude: 29°43'S, longitude: 53°43'W e altitude: 95 m). O clima da região é do tipo Cfa subtropical úmido com verões quentes e sem estação seca definida, segundo a classificação de Köppen. O solo é

classificado como Argissolo Bruno-Acinzentado Alítico e foi preparado de maneira convencional. As quantidades de fertilizantes aplicadas foram de acordo com as necessidades apontadas na análise química do solo e totalizaram  $275 \text{ kg ha}^{-1}$  da fórmula comercial 5-20-20 aplicados na base e  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de uréia, em cobertura. O inseticida, de princípio ativo Tiametoxam e Lambda-cialotrina ( $100 \text{ ml ha}^{-1}$ ), foi utilizado para controlar a vaquinha (*Diabrotica speciosa*), quando se constataram 20 insetos por pano de batida. As plantas daninhas foram eliminadas de forma mecânica (com enxada), sempre que necessário, a fim de evitar a competição com a cultura. O controle de doenças não foi efetuado.

O acamamento foi determinado por meio de observação visual de todas as plantas da unidade experimental na maturação (estádio fenológico R9), usando escala de notas proposta pelo Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT (1987). A escala variou de 1 (todas as plantas eretas) a 9 (todas as plantas caídas, tocando o solo). No estágio R9, também, foi avaliado o caractere fenológico ciclo, no momento em que metade mais uma das plantas da unidade experimental atingiram a maturação.

Os demais caracteres morfológicos (altura de inserção da primeira vagem e altura de inserção da última vagem) foram mensurados após a colheita, em dez plantas coletadas aleatoriamente na unidade experimental, com o auxílio de uma régua. Nessas plantas, também, foram avaliados os caracteres da produção: número de vagens e de grãos por planta, por contagem manual, e a massa de 100 grãos pela pesagem de três amostras de 100 grãos. A produtividade de grãos foi quantificada por extrapolação do peso do produto obtido em cada parcela para hectare, a 13% de umidade média. Em função da heretogeneidade do estande de plantas foi realizada a correção do estande para o caractere produtividade de grãos, nos experimentos de safra e de safrinha, para todas as unidades experimentais, pelo método de Covariância – Estande Ideal (Schmidt et al., 2001).

A concentração de minerais foi determinada em amostras aleatórias de 10 g de grãos das linhagens F<sub>6:8</sub> e dos parentais. Para tanto, os grãos foram moídos em micromoinho de facas (Q298A21, Quimis, Diadema, SP, Brazil), até a obtenção de partículas inferiores a 1 mm de diâmetro. Uma amostra de 0,5 g da farinha de feijão cru obtida foi usada para a digestão nítrica-perclórica (HNO<sub>3</sub> + HClO<sub>4</sub>, na proporção volumétrica de 3:1), a qual foi realizada seguindo a metodologia descrita por Miyazawa et al. (1999). A leitura da concentração de potássio foi feita em fotômetro de chama (B642, Micronal, São Paulo, SP, Brazil) e de fósforo, em espectrofotômetro UV-VIS, com capacidade de oito cubetas (T60 UV-Visible Spectrophotometer, PG Instruments Ltd., Leicestershire, Reino Unido), com comprimento de onda de 600 nm. As concentrações de zinco e de cobre foram quantificadas em espectrofotômetro de absorção atômica (XplorAA DUAL, GBC Scientific Equipment Pty. Ltd., Braeside, Australia), com comprimento de onda de 213,9 nm e de 324,8 nm, respectivamente.

A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, a 5% de probabilidade. Posteriormente, se procedeu a análise de variância individual, considerando o delineamento látice. A eficiência deste delineamento em relação ao delineamento de blocos ao acaso foi estimada por:  $Ef = (QMR/V_r) \times 100$ , em que: QMR é o quadrado médio do resíduo da análise do látice como blocos ao acaso completos;  $V_r$  é variância efetiva média da análise do látice com recuperação de informação interblocos.

A análise de variância conjunta foi realizada com os tratamentos comuns aos dois experimentos, adotando-se o delineamento blocos ao acaso, porém utilizando tratamentos ajustados e o erro efetivo do látice, para corrigir o efeito de blocos. O efeito de tratamentos foi considerado como aleatório e os demais, fixos (ambiente, interação GxA e erro experimental). A homogeneidade das variâncias residuais foi verificada pelo teste F máximo de Hartley. O

efeito de tratamentos foi decomposto em linhagem e em parentais e para avaliar o efeito de linhagem dentro de cada população foi utilizado o método hierárquico.

Os seguintes parâmetros genéticos foram estimados em cada população: variância genotípica, variância ambiental, herdabilidade ( $h^2$ ), coeficiente de variação genético (CVg), coeficiente de variação ambiental (CVe), razão CVg/CVe, valor mínimo, valor máximo, média geral, média das cinco linhagens superiores e ganho de seleção. A herdabilidade foi calculada com base nos componentes da variância, utilizando as médias de tratamentos, pela fórmula:  $h^2 = \hat{\sigma}_G^2 / \hat{\sigma}_F^2$ , em que:  $\hat{\sigma}_G^2$  é a variância genética entre tratamentos e  $\hat{\sigma}_F^2$  é a variância fenotípica entre médias de tratamentos. O ganho de seleção (%) para cada caractere foi estimado com a seleção das cinco linhagens com melhor média para o caractere, dentro de cada população, por meio da fórmula:  $GS(\%) = \{[X_s - X_o]h^2\}100 / X_o$ . Em que: GS é o ganho de seleção (%);  $X_s$  é a média das linhagens selecionadas;  $X_o$  é a média de todas as linhagens; e  $h^2$  é a herdabilidade. Os valores médios para cada caractere foram comparados pelo teste de Scott-Knott, a 5% probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas no Programa Genes (Universidade Federal de Viçosa).

### 2.3 Resultados e Discussão

O delineamento látice foi eficiente para avaliar os caracteres sob estudo, com eficiência variando de 99,54% (massa de 100 grãos) a 120,95% (concentração de fósforo nos grãos) em relação ao delineamento blocos ao acaso (Tabela 1). Ou seja, a variação obtida dentro dos blocos foi superior à variação entre repetições, que correspondem aos blocos no delineamento blocos ao acaso. Adicionalmente, as variâncias residuais foram homogêneas possibilitando a realização da análise de variância conjunta para todos os caracteres avaliados. Os valores de coeficiente de variação obtidos para os caracteres morfológicos, fenológicos, da produção e nutricionais foram similares aos verificados em trabalhos prévios (Faleiro et al.,

2002; Ribeiro et al., 2004; Cargnelutti Filho et al., 2006; Ribeiro et al., 2008; Rosa et al., 2010; Ribeiro et al., 2011; Ribeiro et al., 2013; Jost et al., 2014).

Interação tratamento x ambiente e linhagem x ambiente significativa foi obtida para os caracteres nota de acamamento, altura de inserção da primeira vagem, altura de inserção da última vagem, ciclo, número de vagens por planta, número de grãos por planta, massa de 100 grãos, produtividade de grãos e concentração de zinco nos grãos (Tabela 1). Para esses caracteres, também, se observou interação parental x ambiente significativa, exceto para a nota de acamamento, a massa de 100 grãos e a concentração de zinco. A presença de interação genótipo x ambiente para os caracteres que conferem alto desempenho agrônomico e qualidade nutricional para o feijão representa dificuldades na seleção de linhagens superiores, pois a melhor linhagem ou cultivar para determinado caractere em um ambiente poderá não ser a mesma em outro ambiente.

As linhagens diferiram entre si (valor de  $p < 0,05$ ) para as concentrações de potássio e de fósforo, indicando possibilidades de identificar linhagens com grãos biofortificados quanto à concentração desses minerais (Tabela 1). Variabilidade genética para esses minerais foi descrita previamente em cultivares de feijão por Moraghan e Grafton (2001) e em linhagens de feijão por Silva et al. (2012). Para a concentração de cobre nos grãos, o efeito de linhagem não foi significativo (valor de  $p > 0,05$ ) (Tabela 1), inviabilizando a seleção e a obtenção de estimativas de parâmetros genéticos. Para todos os demais caracteres, foi observada variabilidade genética entre as linhagens avaliadas.

As populações avaliadas (P1, P2, P3 e P4) diferiram significativamente para todos os caracteres morfológicos, ciclo, massa de 100 grãos, produtividade de grãos e concentração de potássio (Tabela 1). Considerando a decomposição do efeito de linhagem dentro de população (L/P) se observaram diferenças significativas para todos os caracteres avaliados, exceto para a concentração de cobre. Adicionalmente, dentro de cada população, se verificou que há

variabilidade genética entre as linhagens para a maioria das populações e caracteres, exceto para a concentração de cobre. Portanto, ganhos de seleção poderão ser obtidos e linhagens superiores para os caracteres morfológicos, fenológico, da produção e nutricionais poderão ser identificadas dentro das populações avaliadas.

Com relação aos caracteres morfológicos, para a nota de acamamento foi obtida estimativa de herdabilidade de moderada (30,0% população segregante para fósforo) a alta magnitude (82,7% população segregante para potássio) (Tabela 2). Já, para a altura de inserção da primeira e da última vagem, as estimativas de herdabilidade foram de alta magnitude, superiores a 65,1%, exceto para a população segregante para zinco (56,4%, moderada) e fósforo (26,6%, baixa), respectivamente. Cabe ressaltar que as estimativas de herdabilidade apresentadas na Tabela 2 são equivalentes a herdabilidade no sentido restrito, pois linhagens com alto nível de endogamia apresentam variância genética com predomínio de efeitos aditivos (Torga et al., 2010).

Em geração avançada ( $F_7$ ), Jost et al. (2014), também, verificaram moderada e alta herdabilidade para os caracteres nota de acamamento e altura de inserção da primeira vagem, respectivamente, em linhagens de feijão. As magnitudes de herdabilidade obtidas no presente estudo e por Jost et al. (2014), para os caracteres morfológicos, indicaram que a maior parte da variância fenotípica observada foi devido a fatores genéticos, os quais são herdáveis e, por conseguinte, há possibilidade de se obter de ganhos por seleção para esses caracteres. Contudo, no presente estudo, houve predomínio de efeitos ambientais sobre os genéticos (razão  $CV_g/CV_e \leq 1$ ) na maioria das populações, o que dificulta a obtenção de ganhos. O mesmo foi constatado por Cargnelutti et al. (2006) em cultivares de feijão e por Jost et al. (2014) em linhagem de feijão.

Associação positiva entre esses caracteres morfológicos foi verificada por Cargnelutti et al. (2006), indicando que maiores valores de altura de inserção da primeira e da última

vagem podem estar associados a uma arquitetura não ereta, como foi observado nos resultados obtidos para o parental Pérola (Tabela 3). Portanto, o melhoramento para arquitetura ereta em feijão, baseado na seleção de linhagens com maiores alturas de inserção da primeira e da última vagem, pode não ser a melhor estratégia para o programa de melhoramento.

Para a nota de acamamento houve predomínio de efeitos genéticos sobre ambientais ( $CV_g/CV_e > 1$ ) e maior variância genética foi obtida na população segregante para potássio, que associada a alta herdabilidade, resultou na maior estimativa de ganho por seleção, -23,0% (Tabela 2). O ganho para a nota de acamamento tem valor negativo, pois menores notas de acamamento foram atribuídas a plantas de porte ereto. Já, para a altura de inserção da primeira vagem, a seleção na população segregante para cobre foi mais efetiva, pela maior estimativa de ganho obtida (12,8%). Contudo, devido à adequada altura média para a colheita mecanizada das cinco linhagens selecionadas, a seleção para a altura de inserção da primeira vagem poderá ser feita em qualquer uma das populações (Silva et al., 2009).

Os valores mínimos obtidos para a nota de acamamento nas diferentes populações demonstraram que nenhuma linhagem apresentou porte ereto, assim como, não houve um parental com porte ereto (notas de acamamento entre 1 e 2) (Tabelas 1 e 2). Desta forma, a nota de acamamento para essas populações não foi um caractere adequado para identificar linhagens de porte ereto, embora essa escala de notas tenha sido eficiente para descartar visualmente linhagens inferiores de feijão nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) (Maziero et al., 2010).

As alturas médias de inserção da primeira e da última vagem variaram entre 15,2 (população segregante para zinco) e 17,5 cm (população segregante para potássio) e de 38,6 (população segregante para zinco) a 40,4 cm (população segregante para cobre), respectivamente (Tabela 3). Os valores de alturas médias de inserção da primeira e da última

vagem obtidos nas linhagens das populações avaliadas foram inferiores aos valores observados nos parentais (Tabela 3). No entanto, todas as linhagens avaliadas apresentaram altura de inserção da primeira vagem superior a 9,3 cm, o que de acordo com Silva et al. (2009) confere um bom padrão de planta para a colheita mecanizada.

Para o caractere fenológico, ciclo apenas na população segregante para cobre foi obtida moderada herdabilidade (49,7%), nas demais populações foram verificadas estimativas de herdabilidade de alta magnitude (superior a 70,9% na população segregante para potássio) (Tabela 2). Em linhagens de feijão em geração avançada (F<sub>7</sub>) Faleiro et al. (2002), também, verificaram alta herdabilidade para ciclo, diferente de Jost et al. (2014) que observaram baixa a moderada herdabilidade para o mesmo caractere. No presente estudo, a variância ambiental foi mais expressiva do que a variância genética e houve interação linhagem x ambiente significativa, o que dificultou a obtenção de linhagens de ciclo precoce (Tabela 2). De acordo com Ribeiro et al. (2004), o ciclo das cultivares de feijão é muito influenciado pelo ambiente, sendo de baixa estabilidade.

A duração média do ciclo variou entre 92,1 a 94,7 dias entre as populações avaliadas (Tabela 3). O parental com menor duração de ciclo foi o TPS Bonito (90,0 dias), o qual não diferiu dos parentais Guapo Brilhante e TPS Nobre, ambos com 91 dias. Portanto, mesmo havendo variabilidade genética e moderada a alta herdabilidade, progresso genético para ciclo precoce (ciclo inferior a 70 dias) não foi obtido nas diferentes populações avaliadas a partir do cruzamento entre parentais de ciclo intermediário (Tabela 2). Contudo, há registro na literatura que a partir de parentais do grupo Mesoamericano com ciclo intermediário foi possível obter linhagens de feijão de ciclo precoce (Jost et al., 2014).

Com relação aos caracteres da produção, o número de vagens por planta apresentou em três das quatro populações avaliadas, estimativas de herdabilidade, em geração avançada, de moderada magnitude (Tabela 2). Apenas na população segregante para fósforo foi



verificada alta herdabilidade (74,2%). Já, o número de grãos por planta apresentou comportamento diferente do número de vagens por planta, sendo observada em três populações alta herdabilidade e em uma, moderada herdabilidade. Faleiro et al. (2002), também, verificaram herdabilidade de moderada magnitude para o número de vagens por planta (35,42%) e o número de sementes por planta (34,34%) em linhagens avançadas de feijão. Para os demais caracteres da produção, massa de 100 grãos e produtividade de grãos, foram verificadas altas estimativas de herdabilidade (superiores a 62,6%), indicando boas possibilidades de se obter ganhos com a seleção (Tabela 2). Alta herdabilidade para a massa de 100 grãos e para a produtividade de grãos foram verificadas em linhagens de feijão em gerações avançadas (Faleiro et al., 2002; Ribeiro et al., 2009; Jost et al., 2014).

A variância ambiental foi maior do que a variância genética para os caracteres da produção na maioria das populações avaliadas, indicando o predomínio de efeitos ambientais na expressão desses caracteres (Tabela 2). Isto ocorre porque a produtividade de grãos e os seus componentes primários são caracteres poligênicos e, portanto, muito influenciados pelo ambiente (Ramalho et al., 1993). Contudo, para a massa de 100 grãos nas populações segregantes para potássio e fósforo observou-se que a variância genética foi mais expressiva do que a ambiental (Tabela 3). Portanto, se espera um maior sucesso com a seleção nessas populações, sendo que a maior estimativa de ganho de seleção foi obtida na população segregante para potássio (21,7%), com média da população selecionada de 26,2 g.

Para o número de vagens por planta e de grãos por planta a população segregante para fósforo foi considerada a mais promissora, com maiores estimativas de ganhos de seleção, 27,2 e 30,0%, respectivamente (Tabela 2). Além de apresentar a maior variância genética associada à alta herdabilidade para esses caracteres. Para a produtividade de grãos, as maiores estimativas de ganho de seleção e as maiores médias foram observadas nas populações segregantes para potássio, fósforo e cobre.

As populações e os parentais apresentaram valores médios próximos para os caracteres produtivos (Tabela 3). Os parentais com maiores valores de massa de 100 grãos foram a cultivar Pérola (27,2 g), IAPAR 31 (24,6 g) e TPS Bonito (24,4 g), ambas do tipo Carioca. Considerando o padrão sugerido por Carbonell et al. (2010) para cultivares de feijão de grãos carioca, apenas a cultivar Pérola atenderia esse padrão (massa de 100 grãos entre 25,10 a 30,00 g).

Para a concentração de potássio nos grãos se verificou herdabilidade de baixa (28,8% população segregante para cobre) a moderada magnitude (34,2% a 59,1%) (Tabela 2). Para a concentração de fósforo e de zinco a herdabilidade variou de baixa (inferior a 21,8%) a alta (superior a 61,9%). Os resultados obtidos para concentração de potássio e de fósforo nos grãos corroboram com o que foi obtido em linhagens de feijão em geração precoce (Poersch et al., 2011; Ribeiro et al., 2011). Já, para a concentração de zinco, em gerações precoces foram verificadas estimativas de herdabilidade em sentido restrito de moderada (57,46%) a alta magnitude (77,84%) (Rosa et al., 2010).

Contudo, para os minerais estudados houve predomínio de efeitos ambientais sobre os genéticos nas quatro populações avaliadas, o que dificulta a obtenção de ganhos e conseqüentemente, dificulta o melhoramento para a biofortificação dos grãos de feijão (Tabela 2). Para a concentração de potássio, na população segregante para esse mineral se verificou uma estimativa de ganho de seleção de 2,6%, com média da população selecionada de 17,9 g kg<sup>-1</sup> de matéria (MS). Contudo, maiores estimativas de ganho de seleção foram obtidos na população segregante para fósforo (6,1%) e zinco (5,2%), devido a maior variância genética e as maiores estimativas de herdabilidade verificadas. Para a concentração de fósforo e de zinco nos grãos, considerando as quatro populações, também não foram obtidas maiores estimativas de ganhos nas populações nas quais foi iniciado o melhoramento. Para ambos

minerais a maior estimativa de ganho foi obtida na população segregante para cobre (10,4% e 11,9%, respectivamente).

Os valores mínimos e máximos obtidos nas linhagens variaram de 15,1 a 19,6 g kg<sup>-1</sup> de matéria seca (MS) para a concentração de potássio, de 4,1 a 5,9 g kg<sup>-1</sup> de MS para a concentração de fósforo e de 20,3 a 36,0 mg kg<sup>-1</sup> de MS para a concentração de zinco nos grãos, respectivamente (Tabela 2). A concentração de potássio e de zinco nos grãos apresentou valores máximos superiores aos verificados em cultivares americanas, cultivadas em cinco locais, indicando superioridade das linhagens obtidas quando comparadas a cultivares consumidas em outros países (Moraghan & Grafton, 2001). Considerando linhagens brasileiras, os valores máximos obtidos para a concentração de potássio, de fósforo e de zinco foram inferiores aos relatados previamente na literatura (Mesquita et al., 2007; Silva et al., 2012).

A concentração média de minerais foi similar entre as quatro populações avaliadas e entre essas e os parentais (Tabela 3). Apenas a concentração de potássio diferiu entre os parentais, sendo que a cultivar BRS Expedito apresentou a maior média (18,0 g kg<sup>-1</sup> MS), não diferindo das cultivares TPS Nobre, IAPAR 44, BRS Valente, TPS Bonito e Diamante Negro. A concentração média de fósforo e de zinco nos parentais foram de 4,8 g kg<sup>-1</sup> MS e de 27,5 mg kg<sup>-1</sup> MS, respectivamente.

Portanto, a magnitude dos parâmetros genéticos diferiram entre as quatro populações avaliadas. Contudo, as linhagens dentro de cada população não apresentaram variabilidade genética simultaneamente para caracteres morfológicos, fenológicos, da produção e nutricionais. No geral, a população segregante para potássio e fósforo mostraram-se mais promissoras na obtenção de linhagens superiores para arquitetura de planta. Para ciclo, número de vagens por planta, número de grãos por planta e concentração de potássio a população segregante para fósforo apresentou maiores estimativas de ganhos de seleção. A

população segregante para potássio se mostrou mais vantajosa para a seleção de linhagens com maior altura de inserção da última vagem e massa de 100 grãos. E para produtividade de grãos e biofortificação dos grãos quanto às concentrações de fósforo e zinco a seleção na população segregante para cobre será mais promissora que nas outras populações avaliadas. Entretanto, o desempenho médio para caracteres morfológicos, fenológicos, da produção e nutricionais das quatro populações foram similares aos parentais.

## **2.4 Conclusões**

1. A massa de 100 grãos e a produtividade de grãos apresentam alta herdabilidade em geração  $F_{6,8}$  nas quatro populações avaliadas. Para os caracteres nota de acamamento, altura de inserção da primeira vagem, ciclo, número de vagens por planta e número de grãos por planta se observa herdabilidade de moderada a alta magnitude. Estimativa de herdabilidade de baixa a alta magnitude foram obtidas para a altura de inserção da última vagem e para a concentração de fósforo nos grãos e de baixa a moderada magnitude para a concentração de potássio e de zinco nos grãos.

2. A maioria dos caracteres morfológicos, fenológicos, da produção e nutricionais apresentam predomínio de efeitos ambientais sobre os genéticos.

## **2.5 Agradecimentos**

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas concedidas.

## **2.6 Referências**

BURATTO, J.S.; MODA-CIRINO, V.; FONSECA JÚNIOR, N.S.; PRETE, C.E.C.; FARIA, R.T. Adaptabilidade e estabilidade produtiva em genótipos precoces de feijão no estado do Paraná. **Semina: Ciências Agrárias**, v.28, p.373-380, 2007.

CARBONELL, S.A.M.; CHIORATO, A.F.; GONÇALVES, J.G.R.; PERINA, E.F.; CARVALHO, C.R.L. Tamanho de grão comercial em cultivares de feijoeiro. **Ciência Rural**, v.40, p.2067-2073, 2010.

CARGNELUTTI FILHO, A.; RIBEIRO, N.D.; JOST, E. Número necessário de experimentos para a comparação de cultivares de feijão. **Ciência Rural**, v.36, p.1701-1709, 2006.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Séries históricas**: Feijão 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> safra. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2&Pagina\\_objcmsconteudos=2#A\\_objcmsconteudos](http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2&Pagina_objcmsconteudos=2#A_objcmsconteudos)>. Acesso em: 31 de mar. 2014.

CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 585p. (2.ed. v.2)

FALEIRO, F.G.; CRUZ, C.D.; CASTRO, C.; MOREIRA, M.A.; BARROS, E.G. Comparação de blocos casualizados e testemunhas intercalares na estimação de parâmetros genéticos em feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.1675-1680, 2002.

INTERNACIONAL CENTER FOR TROPICAL AGRICULTURE - CIAT. **Standard system for the evaluation of bean germplasm**. Cali: Internacional Center for Tropical Agriculture, 1987. 54p.

JOST, E.; RIBEIRO, N.D.; ROSA, D.P.; POSSOBOM, M.T.D.F.; MAZIERO, S.M. Methods of selecting common bean lines having high yield, early cycle and erect growth. **Revista Ciência Agronômica**, v.45, p.101-110, 2014.

MAZIERO, S.M.; RIBEIRO, N.D.; CERUTTI, T.; JOST, E.; ROSA, D.P.; POSSOBOM, M.T.D.F. Acurácia e precisão experimental das escalas de acamamento e de nota geral de

adaptação na seleção de linhas endogâmicas de feijão. In: 25ª JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA, 25., 2010, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2010. 1 CD-ROM.

MENDES, F.F.; RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A.F.B. Índice de seleção para escolha de populações segregantes de feijoeiro-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.1312-1318, 2009.

MESQUITA, F.R.; CORRÊA, A.D.; ABREU, C.M.P.; LIMA, R.A.Z.; ABREU, A.F.B. Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): composição química e digestibilidade protéica. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, p.1114-1121, 2007.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; MURAOKA, T.; CARMO, C.A.F.S.; MELLO, W.J. Análises químicas de tecido vegetal. In: SILVA, F.C. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos, 1999. p.171-223.

MORAGHAN, J.T.; GRAFTON, K. Genetic diversity and mineral composition of common bean seed. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.81, p.404-408, 2001.

PFEIFFER, W.H, MCCLAFFERTY, B. HarvestPlus: Breeding crops for better nutrition. **Crop Science**, v.47, p.S88-S105, 2007.

POERSCH, N.L.; RIBEIRO, N.D.; ROSA, D.P.; POSSOBOM, M.T.D.F. Genetic control of potassium content of common bean seeds. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.626-632, 2011.

POERSCH, N.L.; RIBEIRO, N.D.; ROSA, D.P.; MAZIERO, S.M.; JOST, E. Genetics of the concentration of copper in common bean seeds. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.35, p.301-306, 2013.

RAMALHO, M.A.P., SANTOS, J.B. dos, ZIMMERMANN, M.J. de O. **Genética quantitativa em plantas alógamas**: aplicações ao melhoramento do feijoeiro. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 1993. 271p.

RIBEIRO, E.H.; PEREIRA, M.G.; COELHO, K.S.; FREITAS JUNIOR, S.P. Estimativas de parâmetros genéticos e seleção de linhagens endogâmicas recombinantes de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ceres**, v.56, p.580-590, 2009.

RIBEIRO, N.D.; CARGNELUTTI FILHO, A.; POERSCH, N.L.; JOST, E.; ROSA, S.S. Genetic progress in traits of yield, phenology and morphology of common bean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.8, p.232-238, 2008.

RIBEIRO, N.D.; JOST, E.; CARGNELUTTI FILHO, A. Efeitos da interação genótipo x ambiente no ciclo e na coloração do tegumento dos grãos do feijoeiro comum. **Bragantia**, v.63, p.373-380, 2004.

RIBEIRO, N.D.; MAMBRIN, R.B.; STORCK, L.; PRIGOL, M.; NOGUEIRA, C.M. Combined selection for grain yield, cooking quality and minerals in the common bean. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, p.869-877, 2013.

RIBEIRO, N.D.; ROSA, S.S.; JOST, E.; ROSA, D.P.; POERSCH, N.L.; MAZIERO, S.M. Genetics of phosphorus content in common bean seeds. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.11, p.250-256, 2011.

ROSA, S.S.; RIBEIRO, N.D.; JOST, E.; REINIGER, L.R.S.; ROSA, D.P.; CERUTTI, T.; POSSOBOM, M.T.D.F. Potential for increasing the zinc content in common bean using genetic improvement. **Euphytica**, v.175, p.207-213, 2010.

SCHMILDT, E.R.; CRUZ, C.D.; ZANUNCIO, J.C.; PEREIRA, P.R.G.; FERRÃO, R.G. Avaliação de métodos de correção do estande para estimar a produtividade em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.1011-1018, 2001.

SILVA, C.A.; ABREU, A.F.B.; RAMALHO, M.A.P.; MAIA, L.G.S. Chemical composition as related to seed color of common bean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.12, p.132-137, 2012.

SILVA, J.G.; AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J. Colheita direta de feijão com colhedora automotriz axial. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.39, p.371-379, 2009.

TORGA, P.P; SANTOS, J.B. dos; PEREIRA, H.S.; FERREIRA, D.F.; LEITE, M.E. Seleção de famílias de feijoeiro baseada na produtividade, no tipo de grãos e informações de QTLs. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, p.95-100, 2010.



**Tabela 1.** Análise de variância conjunta para os caracteres nota de acamamento (AC), altura de inserção da primeira vagem (AIV, cm), altura de inserção da última vagem (AUV, cm), ciclo (dias), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), massa de 100 grãos (M100G, g), produtividade de grãos (PROD, kg ha<sup>-1</sup>), concentração de potássio (K, g kg<sup>-1</sup> de matéria seca - MS), de fósforo (P, g kg<sup>-1</sup> de MS), de zinco (Zn, mg kg<sup>-1</sup> de MS) e de cobre (Cu, mg kg<sup>-1</sup> de MS) nos grãos, de 160 linhagens de feijão e nove parentais avaliados nos cultivos de safra e de safrinha. Santa Maria - RS, UFSM, 2014.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio					
		AC	AIV	AUV	Ciclo	NVP	NGP
Tratamentos (T)	168	5,53 **	18,68 **	92,70 **	51,55 **	28,95 **	549,42 **
Linhagem (L)	159	5,25 **	18,09 **	82,41 **	52,49 **	29,78 **	571,56 **
População (P)	3	12,32 **	171,00 **	102,49 *	218,45 **	30,44 <sup>ns</sup>	448,78 <sup>ns</sup>
L/P	156	5,11 **	15,15 **	82,03 **	49,30 **	29,77 **	573,92 **
L/P1 - Potássio	39	8,17 **	14,95 **	98,24 **	47,28 **	21,61 <sup>ns</sup>	347,04 <sup>ns</sup>
L/P2 - Fósforo	39	3,09 <sup>ns</sup>	17,58 **	39,68 <sup>ns</sup>	74,21 **	36,45 **	682,08 **
L/P3 - Zinco	39	4,11 <sup>ns</sup>	8,90 <sup>ns</sup>	92,18 **	52,79 **	27,53 **	495,75 **
L/P4 - Cobre	39	5,08 **	19,17 **	98,01 **	22,92 <sup>ns</sup>	33,47 **	770,82 **
Parentais (Pa)	8	7,40 **	21,78 **	190,07 **	35,69 **	13,30 <sup>ns</sup>	128,09 <sup>ns</sup>
Grupo (Gr)	1	2,43 <sup>ns</sup>	52,58 **	585,14 **	53,39 <sup>ns</sup>	2,59 <sup>ns</sup>	11,09 <sup>ns</sup>
Ambiente (A)	1	2423,67 **	18449,89 **	172960,33 **	112201,78 **	1481,72 **	10796,09 **
T x A	168	4,86 **	14,02 **	44,08 **	36,49 **	24,62 **	520,12 **
L x A	159	4,74 **	14,20 **	42,41 **	36,43 **	25,41 **	539,74 **
Pa x A	8	2,74 <sup>ns</sup>	13,15 **	81,23 **	52,50 **	24,93 *	427,98 *
Gr x A	1	0,29 <sup>ns</sup>	5,41 <sup>ns</sup>	75,80 <sup>ns</sup>	40,61 <sup>ns</sup>	2,54 <sup>ns</sup>	414,77 <sup>ns</sup>
Resíduo	288	2,05	4,93	30,15	14,62	11,36	204,35
CV (%) <sup>(1)</sup>		23,72	13,38	13,45	4,20	28,15	29,73
EF (%) <sup>(2)</sup>		107,69	101,62	104,82	99,88	102,28	101,51

Fontes de variação	GL	M100G	PROD	K	P	Zn	Cu
Tratamento (T)	168	25,91 **	468026,49 **	3,18 **	0,68 **	36,09 **	11,52 <sup>ns</sup>
Linhagem (L)	159	25,48 **	480897,54 **	3,33 **	0,61 **	38,63 **	13,00 <sup>ns</sup>
População (P)	3	25,09 **	1136523,58 **	6,31 **	0,28 <sup>ns</sup>	16,36 <sup>ns</sup>	25,72 <sup>ns</sup>
L/P	156	25,48 **	468289,35 **	3,27 **	0,62 **	39,06 **	12,75 <sup>ns</sup>
L/P1 - Potássio	39	36,33 **	514792,52 **	2,70 *	0,74 **	21,18 <sup>ns</sup>	9,41 <sup>ns</sup>
L/P2 - Fósforo	39	17,63 **	496448,06 **	4,39 **	0,41 <sup>ns</sup>	36,01 **	9,25 <sup>ns</sup>
L/P3 - Zinco	39	17,89 **	242569,66 <sup>ns</sup>	3,55 **	0,57 **	51,42 **	17,65 *
L/P4 - Cobre	39	30,07 **	619347,14 **	2,45 <sup>ns</sup>	0,76 **	47,63 **	14,69 <sup>ns</sup>
Parentais (Pa)	8	21,59 **	164786,19 <sup>ns</sup>	5,12 **	0,46 <sup>ns</sup>	13,52 <sup>ns</sup>	14,11 <sup>ns</sup>
Grupo (Gr)	1	135,05 **	636960,53 *	1,12 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	2,03 <sup>ns</sup>	33,65 <sup>ns</sup>
Ambiente (A)	1	61,86 **	11615546,69 **	88,20 **	16,88 **	9541,31 **	804,16 **
T x A	168	9,19 **	380798,59 **	1,92 **	0,36 **	23,73 **	16,03 <sup>ns</sup>
L x A	159	9,53 **	391097,75 **	2,14 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>	23,50 *	14,38 <sup>ns</sup>
Pa x A	8	2,13 <sup>ns</sup>	276812,44 *	1,21 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	15,74 <sup>ns</sup>	25,27 <sup>ns</sup>
Gr x A	1	6,01 <sup>ns</sup>	1071961,33 **	0,03 <sup>ns</sup>	1,56 *	26,85 <sup>ns</sup>	95,58 *
Resíduo	228	4,96	116475,00	1,34	0,26	17,42	10,38
CV (%) <sup>(1)</sup>		10,69	18,99	7,90	11,69	15,72	33,18
EF (%) <sup>(2)</sup>		99,54	107,15	116,94	120,95	104,26	114,57

<sup>(1)</sup>Coefficiente de variação. <sup>(2)</sup>Eficiência do delineamento látice. \* e \*\* Significativo a 5 e 1% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente. <sup>ns</sup>Não significativo.

**Tabela 2.** Parâmetros genéticos para os caracteres nota de acamamento (AC), altura de inserção da primeira vagem (A1V, cm), altura de inserção da última vagem (AUV, cm), ciclo (dias), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), massa de 100 grãos (M100G, g), produtividade de grãos (PROD, kg ha<sup>-1</sup>), concentração de potássio (K, g kg<sup>-1</sup> de matéria seca - MS), de fósforo (P, g kg<sup>-1</sup> de MS), de zinco (Zn, mg kg<sup>-1</sup> de MS) e de cobre (Cu, mg kg<sup>-1</sup> de MS) nos grãos em cada população de feijão (segregante para potássio – P 1, para fósforo – P 2, para zinco – P 3 e para cobre – P 4) avaliadas no cultivos de safra e de safrinha. Santa Maria - RS, UFSM, 2014.

Parâmetros genéticos	AC				A1V				AUV				Ciclo			
	P1 K	P2 P	P3 Zn	P4 Cu	P1 K	P2 P	P3 Zn	P4 Cu	P1 K	P2 P	P3 Zn	P4 Cu	P1 K	P2 P	P3 Zn	P4 Cu
$\sigma^2_G^{(1)}$	1,7	0,2	-0,2	0,7	2,6	3,1	1,3	3,4	20,2	2,6	15,0	17,6	8,4	13,9	9,5	2,8
$\sigma^2_E^{(2)}$	1,4	2,2	4,8	2,4	4,6	5,4	3,9	5,5	17,6	29,1	32,1	27,5	13,7	18,8	15,0	11,5
$h^2$ (%) <sup>(3)</sup>	82,7	30,0	-17,3	51,9	69,1	69,4	56,4	71,1	82,1	26,6	65,1	71,9	70,9	74,7	71,6	49,7
CVg (%) <sup>(4)</sup>	20,8	8,0	sn*	13,3	9,2	10,6	7,4	10,8	11,3	4,1	10,0	10,4	3,1	3,9	3,3	1,8
CVe (%) <sup>(5)</sup>	19,0	24,4	33,0	25,5	12,3	14,1	13,0	13,7	10,5	13,5	14,7	13,0	4,0	4,6	4,2	3,7
Razão CVg/CVe <sup>(6)</sup>	1,1	0,3	sn*	0,5	0,7	0,8	0,6	0,8	1,1	0,3	0,7	0,8	0,8	0,9	0,8	0,5
Valor mín,	4,3	4,0	4,8	4,0	14,5	11,7	11,6	13,2	32,0	35,7	25,1	32,7	88,5	88,0	87,0	87,8
Valor máx,	9,0	8,3	8,5	8,5	22,6	21,2	18,0	21,8	53,5	49,2	47,3	52,5	103,3	105,3	105,8	97,3
Média 5 + <sup>(7)</sup>	4,5	5,0	4,8	4,8	20,3	19,6	17,6	20,2	48,1	44,4	45,0	49,5	89,5	89,5	88,5	88,5
GS (%) <sup>(8)</sup>	-23,0	-5,1	sn*	-11,7	10,9	13,3	9,1	12,8	17,0	2,8	10,9	16,3	-2,9	-4,1	-3,0	-1,9

Parâmetros genéticos	NVP				NGP				M100G				PROD			
	P1 K	P2 P	P3 Zn	P4 Cu	P1 K	P2 P	P3 Zn	P4 Cu	P1 K	P2 P	P3 Zn	P4 Cu	P1 K	P2 P	P3 Zn	P4 Cu
$\sigma^2_G^{(1)}$	2,6	6,8	3,8	4,2	30,2	127,8	74,9	118,8	7,9	3,7	3,6	5,5	94591,4	101155,2	37983,2	113015,5
$\sigma^2_E^{(2)}$	11,1	9,4	12,2	16,7	226,1	170,9	196,2	295,5	4,6	2,9	3,4	8,1	136426,9	91827,2	90636,7	167285,1
$h^2$ (%) <sup>(3)</sup>	48,7	74,2	55,8	50,2	34,8	74,9	60,4	61,7	87,4	83,6	81,1	73,0	73,5	81,5	62,6	73,0
CVg (%) <sup>(4)</sup>	13,6	20,2	15,5	16,7	11,2	21,6	17,8	22,0	13,5	9,2	9,2	11,7	16,8	16,6	11,2	17,4
CVe (%) <sup>(5)</sup>	27,9	23,8	27,5	33,4	30,7	25,0	28,8	34,7	10,2	8,2	8,8	14,2	20,1	15,8	17,2	21,2
Razão CVg/CVe <sup>(6)</sup>	0,5	0,8	0,6	0,5	0,4	0,9	0,6	0,6	1,3	1,1	1,0	0,8	0,8	1,0	0,6	0,8
Valor mín,	7,9	8,5	8,4	7,2	32,2	30,7	27,1	29,1	16,0	16,5	17,1	13,5	1267,4	1217,9	1286,5	1207,4
Valor máx,	19,2	19,7	19,7	18,1	76,4	75,7	73,6	79,0	29,0	25,3	25,3	25,7	3040,8	2582,7	2298,3	2713,4
Média 5 + <sup>(7)</sup>	16,6	17,6	19,0	16,9	68,9	73,3	69,7	72,8	26,2	24,5	23,9	23,8	2468,5	2460,3	2140,7	2549,9
GS (%) <sup>(8)</sup>	19,2	27,2	27,7	19,2	14,2	30,0	26,2	28,9	21,7	15,0	12,1	13,6	25,4	23,2	14,1	23,5

Parâmetros genéticos	K				P				Zn			
	P1 K	P2 P	P3 Zn	P4 Cu	P1 K	P2 P	P3 Zn	P4 Cu	P1 K	P2 P	P3 Zn	P4 Cu
$\sigma^2_G^{(1)}$	0,2	0,6	0,5	0,2	0,1	0,0	0,1	0,1	1,2	4,5	7,6	7,7
$\sigma^2_E^{(2)}$	1,8	1,8	1,5	1,7	0,5	0,3	0,3	0,3	16,6	18,2	21,0	17,0
$h^2$ (%) <sup>(3)</sup>	34,2	59,1	56,4	28,8	38,5	23,9	52,0	61,9	21,8	49,6	59,1	64,3
CVg (%) <sup>(4)</sup>	2,9	4,9	4,2	2,5	5,4	3,2	5,6	7,0	4,0	7,7	10,1	10,1
CVe (%) <sup>(5)</sup>	8,0	8,1	7,3	7,9	13,6	11,3	10,8	11,0	15,2	15,5	16,8	15,0
Razão CVg/CVe <sup>(6)</sup>	0,4	0,6	0,6	0,3	0,4	0,3	0,5	0,6	0,3	0,5	0,6	0,7
Valor mín,	15,1	15,1	15,3	15,5	4,1	4,2	4,1	4,2	22,6	22,4	20,3	20,5
Valor máx,	18,2	19,6	18,8	18,6	5,8	5,6	5,6	5,9	32,9	34,6	36,0	35,5
Média 5 + <sup>(7)</sup>	17,9	18,2	18,5	18,0	5,6	5,4	5,3	5,7	29,8	32,7	32,0	32,6
GS (%) <sup>(8)</sup>	2,6	6,1	5,2	2,2	4,8	2,2	4,2	10,4	2,4	9,5	10,0	11,9

<sup>(1)</sup>Variância genética. <sup>(2)</sup>Variância ambiental. <sup>(3)</sup>Herdabilidade. <sup>(4)</sup>Coefficiente de variação genético. <sup>(5)</sup>Coefficiente de variação ambiental. <sup>(6)</sup>Razão entre o coeficiente de variação genético e o coeficiente de variação ambiental. <sup>(7)</sup>Médias das melhores linhagens dentro da população. <sup>(8)</sup>Ganho de seleção (%) considerando a seleção de cinco linhagens. <sup>ns</sup>Não significativo pelo teste F.

**Tabela 3.** Valores médios de populações e de parentais para os caracteres nota de acamamento (AC), altura de inserção da primeira vagem (A1V, cm), altura de inserção da última vagem (AUV, cm), ciclo (dias), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), massa de 100 grãos (M100G, g), produtividade de grãos (PROD, kg ha<sup>-1</sup>), concentração de potássio (K, g kg<sup>-1</sup> de matéria seca - MS), de fósforo (P, g kg<sup>-1</sup> de MS) e de zinco (Zn, mg kg<sup>-1</sup> de MS) avaliados nos cultivos de safra e de safrinha. Santa Maria - RS, UFSM, 2014.

População	Valores médios para população										
	AC	A1V	AUV	Ciclo	NVP	NGP	M100G	PROD	K	P	Zn
P 1 K <sup>(1)</sup>	6,2	17,5	39,9	93,3	11,9	48,9	20,9	1834,1	16,7	5,0	26,8
P 2 P <sup>(2)</sup>	6,0	16,5	40,1	94,7	12,9	52,3	20,8	1915,7	16,5	4,9	27,4
P 3 Zn <sup>(3)</sup>	6,7	15,2	38,6	92,4	12,7	48,6	20,8	1747,3	17,0	4,9	27,4
P 4 Cu <sup>(4)</sup>	6,1	17,1	40,4	92,1	12,2	49,6	20,1	1929,8	16,8	4,9	27,5
Média	6,3	16,6	39,7	93,1	12,4	49,9	20,6	1856,7	16,7	4,9	27,3

Parental	Valores médios para parental										
	AC	A1V	AUV	Ciclo	NVP	NGP	M100G	PROD	K	P	Zn
Guapo Brilhante	4,0 a	15,7 c	33,1 b	91,0 a	12,8	50,7	20,7 c	2177,9	14,6 b	4,2	29,1
TPS Nobre	5,3 a	17,7 b	38,8 b	91,0 a	11,1	45,7	20,5 c	1751,6	16,9 a	4,6	29,0
BRS Expedito	5,8 a	18,2 b	46,0 a	95,8 b	12,1	50,6	23,0 b	2084,6	18,0 a	5,2	29,2
IAPAR 44	6,5 b	16,9 b	44,8 a	94,3 b	12,9	54,8	20,9 c	2022,0	17,5 a	4,8	26,7
BRS Valente	6,8 b	18,6 b	38,9 b	96,8 b	16,3	58,9	21,4 b	1814,0	17,6 a	5,2	24,1
TPS Bonito	6,8 b	13,8 c	45,5 a	90,0 a	14,9	50,7	24,4 a	2108,0	17,4 a	4,7	28,8
IAPAR 31	7,5 b	19,5 a	47,2 a	95,5 b	10,8	40,1	24,6 a	1945,3	15,9 b	4,7	27,6
Diamante Negro	8,0 b	17,9 b	42,8 a	96,8 b	11,6	48,3	21,1 b	1719,5	17,9 a	5,3	25,2
Pérola	8,3 b	22,1 a	57,8 a	98,3 b	11,8	43,9	27,2 a	2317,9	16,3 b	4,7	28,0
Média	6,5	17,8	43,9	94,4	12,7	49,3	22,6	1993,4	16,9	4,8	27,5

<sup>(1)</sup>População variante para potássio. <sup>(2)</sup>População variante para fósforo. <sup>(3)</sup>População variante para zinco.

<sup>(4)</sup>População variante para cobre. \*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro.

### 3 ARTIGO 2

#### **Seleção simultânea em feijão para arquitetura ereta, alta produtividade de grãos e alta concentração de minerais**

**Resumo** A seleção simultânea visa à seleção de vários caracteres concomitantemente. O objetivo deste trabalho foi identificar a estratégia de seleção mais eficiente para identificar linhagens de feijão com arquitetura ereta, alta produtividade de grãos e alta concentração de potássio, de fósforo, de zinco e de cobre nos grãos. Para tanto, 160 linhagens de feijão em geração  $F_{6,8}$  e nove parentais foram avaliados em duas épocas de cultivo, em Santa Maria/RS, Brasil. As estratégias de seleção testadas foram seleção direta e índices: clássico, base, livre de pesos e parâmetros, baseado nos ganhos desejados, multiplicativo e baseado na soma de “ranks”. Dois pesos econômicos foram usados, coeficiente de variação genético e ganhos de 10% na média, testados sem restrição (pesos em todos os caracteres) e com restrição (peso econômico igual a zero para dois minerais). A produtividade de grãos não foi correlacionada com a altura de inserção da primeira vagem, entretanto apresentou estimativas de correlação negativas e de baixa magnitude com as concentrações de potássio ( $r = -0,29$ ), fósforo ( $r = -0,41$ ) e zinco ( $r = -0,34$ ). A seleção direta possibilitou alto ganho de seleção para caracteres individuais, mas provocou alterações indesejáveis nos demais caracteres sob seleção. Os índices de seleção não foram concordantes na identificação de linhagens de feijão superiores e o uso de restrição foi vantajoso na seleção em algumas situações. O índice multiplicativo é a melhor estratégia de seleção simultânea para identificar linhagens de feijão de arquitetura ereta, alta produtividade de grãos e alta concentração de potássio, fósforo e zinco nos grãos. As linhagens L 72, L 97, L 137 e L 146 são selecionadas e continuarão em avaliação pelo programa de melhoramento.

**Palavras-chaves** *Phaseolus vulgaris* L. · Desempenho agrônomo · Linhagens biofortificadas · Seleção direta · Índices de seleção · Ganho com a seleção

#### **Simultaneous selection in beans for erect architecture, high grain yield and high minerals concentration**

**Abstract** The simultaneous selection aims to select multiple characters concomitantly. The objective of this study was to identify the most efficient selection strategy to identify common bean lines with erect architecture, high grain yield and high of potassium, phosphorus, zinc and copper concentration in grains. For this purpose, 160 common bean lines in generation  $F_{6,8}$  and parents were evaluated in two cropping seasons, Santa Maria / RS, Brazil. The strategies were tested direct selection and indexes selection: classic, basic, parameters and weights-free, based on desired gains, multiplicative and “ranks” sum. Two economic weights were used, coefficient of variation genetic and gains of 10% on average, tested without restriction (weights for all characters) and with restriction (economic weight equal to zero for the two minerals). Grain yield was not correlated with the height of the first pod, however presented negative correlation estimates and the low magnitude with potassium ( $r = -0.29$ ), phosphorus ( $r = -0.41$ ) and zinc concentrations ( $r = -0.34$ ). The direct selection enabled high gain selection for individual characters, but caused undesirable changes in other characters under selection. The selection indices were not concordant in identifying of superior common beans lines and use restriction was beneficial in the selection in some situations. The multiplicative index is the best strategy for simultaneous selection for the identification of common bean lines with erect architecture, high grain yield and high of potassium, phosphorus and zinc concentration in grains. The lines L 72, L97, L 137 and L 146 are selected and remain under evaluation by the breeding program.

**Keywords** *Phaseolus vulgaris* L. · Agronomic performance · Biofortified lines · Direct selection · Indexes selection · Gain with selection

### 3.1 Introdução

O desenvolvimento de novas cultivares de feijão de arquitetura ereta, com alta produtividade de grãos e biofortificadas representa vantagens mercadológicas para os produtores rurais. Isso porque o uso de cultivares de feijão com maior altura de inserção da primeira vagem contribui para reduzir as perdas na colheita e aumentar a qualidade tecnológica dos grãos (Mendes et al. 2009). Portanto, a arquitetura ereta das plantas permite que o cultivo do feijão seja realizado em áreas mais extensas e maximiza a produção obtida por hectare.

A biofortificação é uma tecnologia que tem apresentado êxito no aumento da concentração de ferro, de zinco e de vitamina A em alimentos básicos como o feijão (Pfeiffer and McClafferty 2007; Blair 2013). Nesse caso, o consumo de cultivares de feijão biofortificadas para esses nutrientes é uma estratégia que tem sido considerada para minimizar os problemas de deficiências nutricionais que, de acordo com Pfeiffer and McClafferty (2007), afetam, aproximadamente, 50% das pessoas no mundo. No entanto, a biofortificação para

potássio, fósforo e cobre é recente em feijão e os resultados obtidos são restritos a gerações precoces (Poersch et al. 2011; Ribeiro et al. 2011; Poersch et al. 2013). Esses minerais desempenham importantes funções no organismo humano. O potássio atua como catalisador no metabolismo dos glicídios e no armazenamento do glicogênio e das proteínas (Franco 2005) e o fósforo é importante na mineralização óssea e dos dentes e, também, participa do metabolismo energético (Oliveira 2007). Já, o cobre faz a mobilização do ferro para a síntese de hemoglobina (Franco 2005). Por isso, o uso de alimentos mais ricos nutricionalmente representa benefícios à saúde dos consumidores e os programas de melhoramento devem estar atentos a essa tendência.

No entanto, a seleção para a arquitetura ereta, alta produtividade de grãos e alta concentração de minerais em feijão é uma tarefa árdua, pois as correlações entre esses caracteres variam amplamente, com valores positivos, negativos e até nulos (Ribeiro et al. 2008; Ribeiro et al. 2009; Jost et al. 2013; Moura et al. 2013; Ribeiro et al. 2013). Por isso, a seleção direta pode gerar alterações favoráveis ou não nos demais caracteres considerados no estudo (Santos and Araújo 2001).

Uma forma de aumentar o êxito com a seleção é utilizar a seleção simultânea, a qual é realizada empregando-se índices de seleção. O índice de seleção se constitui em um caractere adicional, estabelecido pela combinação ótima de vários caracteres, que permite efetuar, com eficiência, a seleção simultânea de caracteres múltiplos (Cruz and Regazzi 1997). Para alguns índices de seleção há necessidade de se determinar os pesos econômicos ou ditos ganhos desejados, como no índice clássico (Smith 1936; Hazel 1943), base (Willians 1962), baseado nos ganhos desejados (Pesek and Baker 1969) e baseado na soma de “ranks” (Mulamba and Mock 1978). Em outros, como no índice livre de pesos e de parâmetros (Elston 1963), se estabelece um valor mínimo ( $K_i$ ), a partir do qual se fará a seleção para valores inferiores ou superiores de  $K_i$ . Para alguns índices não há necessidade de se estabelecer pesos, como no índice multiplicativo, proposto por Subandi et al. (1973). Os índices de seleção foram eficientes na identificação de linhagens superiores em feijão caupi (Santos and Araújo 2001; Bertini et al. 2010), feijão (Bertoldo et al. 2010; Jost et al. 2013), soja (Costa et al. 2004), alfafa (Vasconcelos et al. 2010) e cana-de-açúcar (Almeida et al. 2014).

Os índices de seleção podem ser utilizados para maximizar o ganho em todos os caracteres avaliados, sem haver restrição. Já, os índices de seleção com restrição são utilizados quando se busca maximizar o ganho em um conjunto de caracteres; enquanto que, nos outros conjuntos de caracteres não podem ocorrer alterações ou o ganho deve ser fixado em níveis pré-estabelecidos (Cruz and Carneiro 2006). Segundo Hazel and Lush (1942), os pesos econômicos atribuídos aos caracteres principais devem ser estabelecidos de maneira mais precisa

possível, pois estes afetam diretamente o mérito genético, já os pesos para os caracteres secundários devem ser iguais a zero.

Na cultura do feijão, foi possível selecionar cultivares crioulas com superioridade para os caracteres agronômicos (ciclo, altura de planta, diâmetro do caule, altura de inserção da primeira vagem, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e comprimento da vagem), usando os índices clássico e baseado nos ganhos desejados, ambos testados com pesos econômicos igual a 1 para todos os caracteres (Bertoldo et al. 2010). No estudo realizado por Jost et al. (2013), os índices clássico (com peso econômico equivalente a um ganho de 10% em relação a média para todos os caracteres), base (peso econômico proporcional ao desvio padrão e a um ganho de 10% em relação a média para todos os caracteres) e o índice multiplicativo foram eficientes para selecionar linhagens de feijão em geração  $F_7$  com alto desempenho agronômico e biofortificadas para cálcio e ferro. Entretanto, nesse trabalho os índices de seleção foram analisados com pesos econômicos distintos para cada índice.

Não foi encontrado nenhum trabalho na cultura do feijão em que os pesos econômicos utilizados fossem padronizados para testar os diferentes índices de seleção na identificação de linhagens com arquitetura de planta ereta, alta produtividade de grãos e alta concentração de potássio, fósforo, zinco e cobre nos grãos. Além disso, em face das dificuldades de se reunir em uma mesma linhagem vários caracteres de interesse, o uso de uma restrição no intuito de selecionar linhagens com alta concentração de um mineral nos grãos associado com alto desempenho agronômico é inédita em feijão, para estes índices de seleção. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi identificar a estratégia de seleção mais eficiente para identificar linhagens de feijão com arquitetura ereta, alta produtividade de grãos e alta concentração de potássio, de fósforo, de zinco e de cobre nos grãos.

### 3.2 Material e Métodos

Progênes  $F_2$  com variabilidade genética para a concentração de potássio (Poersch et al. 2011), de fósforo (Ribeiro et al. 2011), de zinco (Rosa et al. 2010) e de cobre nos grãos (Poersch et al. 2013) foram avançadas até a geração  $F_6$  pelo método Descendência de uma Única Semente (SSD). Todos os segregantes obtidos foram do grupo gênico Mesoamericano e apresentaram grãos pretos e do tipo carioca (bege com estrias marrons). O avanço das gerações foi realizado em casa-de-vegetação da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

No cultivo de safra 2011, as 288 linhagens  $F_{6:7}$  obtidas e os nove parentais (Diamante Negro, BRS Expedito, BRS Valente, Guapo Brilhante, IAPAR 44, IAPAR 31, Pérola, TPS Bonito e TPS Nobre) foram

cultivados em área de campo do Programa de Melhoramento de Feijão da UFSM para aumentar a quantidade de sementes. As parcelas experimentais foram constituídas de uma linha de 2 m de comprimento, com espaçamento de 0,50 m. Nesse cultivo, foi registrada a ocorrência da lagarta-elasma (*Elasmopalpus lignosellus*) que causou danos às plantas. Como consequência, houve redução do estande de plantas e algumas linhagens não produziram sementes em quantidade suficiente para os experimentos.

As linhagens F<sub>6,8</sub> obtidas foram avaliadas em dois experimentos conduzidos em área de campo do Programa de Melhoramento de Feijão da UFSM em delineamento látice simples 15 x 15 no cultivo de safra 2012 (semeadura em 27/10/2012) e 13 x 13 no cultivo de safrinha 2013 (semeadura em 02/03/2013). Os tratamentos foram constituídos pelas 212 linhagens F<sub>6,8</sub> e por nove parentais (cultivares testemunhas). No cultivo de safra 2012, foram acrescentadas quatro cultivares testemunhas: BRS Campeiro, Carioca, Rio Tibagi e FTS Magnífico, para manter o delineamento balanceado. Já, no cultivo de safrinha de 2013, não foi possível avaliar todas as linhagens, pois algumas linhagens não produziram sementes em número suficiente na safra de 2011 para montar o segundo experimento, sendo avaliadas 160 linhagens. Em ambos os experimentos a parcela foi constituída de duas linhas de 1 m de comprimento, espaçadas em 0,50 m e com 15 sementes por metro linear.

Os experimentos de campo foram instalados na área experimental do Programa de Melhoramento de Feijão da UFSM (latitude: 29°43'S, longitude: 53°43'W e altitude: 95m), localizada no município de Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. O clima da região é do tipo Cfa subtropical úmido com verões quentes e sem estação seca definida, segundo a classificação de Köppen.

O solo é classificado como Argissolo Bruno-Acinzentado Alítico e foi preparado pelo sistema de cultivo convencional. Os fertilizantes foram aplicados na linha de semeadura, sendo as quantidades definidas de acordo com a análise química do solo. No estágio de primeira folha trifoliolada expandida (V3) foi realizada a adubação nitrogenada de cobertura. Os insetos praga foram combatidos com inseticidas registrados para a cultura. Já, as plantas daninhas foram eliminadas de forma mecânica, sempre que necessário, a fim de evitar a competição com a cultura. O controle de doenças não foi efetuado.

A colheita dos experimentos foi realizada no estágio de maturação das plantas (R9) de forma manual. Em seguida, a altura de inserção da primeira vagem foi mensurada em dez plantas coletadas aleatoriamente na unidade experimental. A produtividade de grãos foi determinada por extrapolação do peso do produto obtido em cada parcela para hectare, a 13% de umidade média. Em função da heterogeneidade do estande de plantas foi feita a correção do estande para a produtividade de grãos, nos experimentos de safra e de safrinha, para todas as unidades experimentais, pelo método de Covariância – Estande Ideal. A produtividade corrigida ( $Z_{ij}$ ) foi



estimada por:  $Z_{ij} = Y_{ij} - b.(X_{ij} - H)$ , em que:  $Y_{ij}$  é a produtividade observada na parcela;  $b$  é o coeficiente de regressão residual de  $Y_{ij}$  em função de  $X_{ij}$ ;  $X_{ij}$  é o estande de plantas observado na parcela; e  $H$  é o estande considerado ideal.

Para a determinação da concentração de minerais, amostras de cerca de 10 g de grãos das linhagens F<sub>6,8</sub> e dos parentais foram moídas em micromoinho de facas até a obtenção de partículas inferiores a 1 mm de diâmetro. Na análise química foram utilizadas 0,5 g da farinha de feijão crua para a realização da digestão nítrica-perclórica (HNO<sub>3</sub> + HClO<sub>4</sub>, na proporção volumétrica de 3:1), seguindo a metodologia descrita por Miyazawa et al. (1999). A leitura da concentração de potássio foi efetuada em fotômetro de chama e de fósforo, em espectrofotômetro UV-VIS, com capacidade de oito cubetas, e comprimento de onda de 600 nm. As concentrações de zinco e de cobre foram obtidas por visualização de registros em espectrofotômetro de absorção atômica, com comprimento de onda de 213,9 nm e de 324,8 nm, respectivamente.

A análise de variância individual foi realizada considerando o delineamento látice simples, sendo que a sua eficiência, em relação ao delineamento blocos ao acaso, foi estimada de acordo com Silva et al. (2000). Apenas os tratamentos comuns aos dois experimentos foram utilizados na análise de variância conjunta, que foi realizada considerando-se os efeitos principais como fixos. A homogeneidade das variâncias residuais foi verificada pelo teste F máximo de Hartley, adotando-se o critério prático dessa relação não ultrapassar a proporção de 7:1 (Cruz and Regazzi 1997). A correlação entre os caracteres foi avaliada pelo coeficiente de correlação de Pearson, cuja significância foi avaliada pelo teste t, e a matriz utilizada foi a de correlação genotípica.

O ganho genético foi estimado pela seleção direta e por índices de seleção. Na seleção direta, a seleção foi baseada em apenas um caractere. O ganho de seleção (%) esperado com a seleção direta e nos índices de seleção, nas linhagens selecionadas em relação ao conjunto de linhagens, foi estimado pela expressão:  $GS = \{[(X_s - X_o)h^2]100\}/X_o$ . Em que: GS é o ganho de seleção (%);  $X_s$  é a média das linhagens selecionadas;  $X_o$  é a média de todas as linhagens; e  $h^2$  é a herdabilidade.

A resposta indireta da seleção direta foi estimada por:  $GS_{j(i)} = DS_{j(i)}h_j^2$ . Em que:  $GS_{j(i)}$  é o ganho de seleção obtido no caractere j, pela seleção no caractere i;  $DS_{j(i)}$  é o diferencial de seleção indireto obtido em função da média do caractere daquelas linhagens selecionadas com base no outro caractere i, sobre o qual se praticou a seleção.

Os seguintes índices de seleção foram empregados: índice clássico (Smith 1936; Hazel 1943), índice base (Willians 1962), índice livre de pesos e de parâmetros (Elston 1963), índice baseado nos ganhos desejados (Pesek and Baker 1969), índice multiplicativo (Subandi et al. 1973) e o índice baseado na soma de “ranks” (Mulamba and Mock 1978), descritos em Cruz and Regazzi (1997).

Os pesos econômicos foram estabelecidos a partir dos próprios dados experimentais (Cruz 1990). Para os índices clássico, base, ganhos desejados e soma de “ranks” foram equivalentes ao coeficiente de variação genético (CVg) e proporcionais a um ganho de 10% em relação a média, considerando que todos os caracteres avaliados tinham a mesma importância agrônoma. O índice livre de pesos e parâmetros foi testado com valor mínimo (Ki) igual a um ganho de 10% na média. Os pesos econômicos foram testados em quatro situações: (I) sem restrição, pesos econômicos foram atribuídos para todos os caracteres; (II) com restrição, as concentrações de fósforo e de zinco nos grãos foram consideradas caracteres secundários, designando-se peso econômico igual a zero (Hazel and Lush 1942); (III) com restrição, pesos econômicos iguais a zero para as concentrações de potássio e de zinco e; (IV) com restrição, concentração de potássio e de fósforo com peso econômico igual a zero. Já, para o índice multiplicativo nenhum peso econômico foi estipulado.

De acordo com os critérios de cada índice foram selecionadas as linhagens superiores, sendo estipulado um número máximo de 17 linhagens (10% do total das linhagens). Somente as 17 linhagens selecionadas pelos índices de seleção, com os melhores resultados na seleção simultânea, foram apresentadas. As médias das 160 linhagens e dos nove parentais foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. As análises estatísticas e biométricas foram realizadas no Programa Genes (Cruz 2013).

### **3.3 Resultados e Discussão**

A eficiência do delineamento látice variou de 101,62 (altura de inserção da primeira vagem) a 120,95% (concentração de fósforo), podendo ser considerada baixa. Nesse caso, se a análise da variância for realizada considerando o delineamento de blocos ao acaso, de acordo com Silva et al. (2000), a obtenção das estimativas dos componentes da variância dos efeitos de tratamento e residual não é comprometida. Além disso, a variância residual das duas épocas de cultivo foi homogênea, possibilitando a realização da análise de variância conjunta para todos os caracteres avaliados.

Interação linhagem x época de cultivo significativa foi verificada para a altura de inserção da primeira vagem, a produtividade de grãos e a concentração de zinco nos grãos (Tabela 1), indicando que as linhagens de feijão responderam de maneira diferenciada às variações dos ambientes de cultivo. Interação linhagem x

ambiente significativa foi descrita previamente para a altura de inserção da primeira vagem (Moura et al. 2013), a produtividade de grãos (Ribeiro et al. 2008; Moura et al. 2013; Ribeiro et al. 2013) e a concentração de zinco (Ribeiro et al. 2008; Silva et al. 2012) em experimentos de avaliação de desempenho de linhagens de feijão. Todavia, no presente estudo não foi significativo o efeito da interação linhagem x época de cultivo para as concentrações de potássio e de fósforo nos grãos, ou seja, a seleção de linhagens superiores para esses minerais será a mesma para as duas épocas de cultivo.

Variabilidade genética foi observada para todos os caracteres avaliados, exceto para a concentração de cobre nos grãos (Tabela 1). Para a concentração de cobre foi significativo apenas o efeito de época de cultivo e o coeficiente de variação obtido foi o de maior magnitude ( $CV = 33,18\%$ ), conferindo baixa precisão experimental. Como foi constatada ausência de variabilidade genética e o maior erro experimental para a concentração de cobre, esse mineral não foi considerado como critério para a seleção de linhagens de feijão superiores.

A correlação genotípica entre a produtividade de grãos e a altura de inserção da primeira vagem não foi significativa e as estimativas de correlação foram negativas e de baixa magnitude entre a produtividade de grãos e as concentrações de potássio ( $r = -0,29$ ), fósforo ( $r = -0,41$ ) e zinco ( $r = -0,34$ ) (Tabela 2). Essas correlações não foram favoráveis ao objetivo desse estudo e representam dificuldades na seleção de linhagens de feijão de arquitetura ereta, alta produtividade de grãos e biofortificadas para potássio, fósforo e zinco. Jost et al (2013), de maneira similar, observaram que as estimativas de correlação fenotípicas obtidas não foram, em magnitude e sinal, adequadas para a seleção de linhagens de feijão em geração  $F_7$  com maior altura de inserção da primeira vagem, alta produtividade de grãos e altas concentrações de cálcio e de ferro nos grãos.

As demais estimativas de correlação obtidas foram de baixa magnitude e positivas (Tabela 2). As correlações genotípicas são resultantes da ligação gênica, pleiotropia ou de relações entre componentes que são apenas, indiretamente, a consequência da ação gênica (Adams 1967). Portanto, a ausência de correlação significativa ou a presença de estimativas de baixa magnitude entre os caracteres avaliados, pode ser atribuída à ausência de tais fenômenos no presente estudo e esse fato pode resultar em ganhos diretos de alta magnitude no caráter sob seleção.

Quando a seleção foi efetuada apenas para um caráter, os ganhos pela seleção direta foram de alta magnitude para a altura de inserção da primeira vagem ( $GS = 17,58\%$ , 2,92 cm), produtividade de grãos ( $GS = 25,26\%$ , 470,92 kg ha<sup>-1</sup>), potássio ( $GS = 4,82\%$ , 0,81 g kg<sup>-1</sup> de matéria seca - MS), fósforo ( $GS = 6,37\%$ , 0,31 g kg<sup>-1</sup> de MS) e zinco ( $GS = 9,91\%$ , 2,71 mg kg<sup>-1</sup> de MS) (Tabela 3). Em populações segregantes de soja, Costa et

al. (2004), também, constataram que os ganhos pela seleção direta de caracteres morfológicos e da produtividade de grãos foram superiores quando se considerou a seleção individual desses caracteres. Portanto, a seleção direta foi eficiente, no presente estudo, para a obtenção de alto ganho para o caractere sob seleção.

No entanto, quando a seleção foi efetuada para a produtividade grãos, os ganhos obtidos pela seleção indireta para a altura de inserção da primeira vagem (GS = -3,67%) e concentração de potássio (GS = -1,28%), de fósforo (GS = -1,73%) e de zinco (GS = -3,31%) nos grãos foram negativos e contrários aos propósitos da seleção. Ou seja, a seleção direta para a produtividade de grãos em feijão provocou alterações indesejáveis nos demais caracteres avaliados. Isso se repetiu quando a seleção direta foi realizada para a altura de inserção da primeira vagem e concentrações de potássio, de fósforo e de zinco. Esse fato pode ser justificado pela ausência de correlação genotípica entre esses caracteres ou pela baixa magnitude das estimativas obtidas (Tabela 2). De acordo com Falconer (1987), a seleção indireta somente vai promover maiores ganhos do que a seleção direta se a correlação genotípica entre os caracteres for positiva e de alta magnitude. Por isso, a seleção direta não foi eficiente para obter ganhos de seleção favoráveis, em magnitude e sinal, para todos os caracteres que conferem alto desempenho agrônomico e maior qualidade nutricional em feijão, confirmando resultados prévios obtidos por Jost et al. (2013). Nesse caso, o uso de índices de seleção constitui em uma estratégia de seleção que pode ser útil para a obtenção de estimativas de ganhos mais equilibrados entre os caracteres.

Os índices de seleção clássico e base, quando testados com um peso econômico equivalente a um ganho de 10% na média para todos os caracteres, apresentaram ganhos de seleção positivos para a altura de inserção da primeira vagem, a produtividade de grãos e as concentrações de potássio, de fósforo e de zinco nos grãos, com ganhos de seleção totais estimados de 25,93% e de 28,34%, respectivamente (Tabela 4). Jost et al. (2013), também, obtiveram bons resultados na seleção de linhagens de feijão em geração F<sub>7</sub> com alto desempenho agrônomico e com alta concentração de cálcio e de ferro nos grãos, com o uso dos índices clássico e base testados com peso econômico equivalente a um ganho de 10% na média dos caracteres, porém com estimativas de ganho de seleção totais de maior magnitude. No presente estudo, os índices clássico e base, com peso econômico equivalente a um ganho de 10% na média para todos os caracteres (sem restrição), resultaram na obtenção de estimativas de ganho de seleção mais equilibradas e favoráveis a seleção de linhagens de feijão superiores em arquitetura de planta, em produtividade de grãos e com alta concentração de potássio, fósforo e zinco nos grãos.

Entretanto, quando esses mesmos índices foram testados com um peso econômico equivalente a um ganho de 10% na média com o uso de restrição, no intuito de se obter ganhos para desempenho agrônomico

associado à biofortificação de um mineral, apenas no índice base foram obtidas estimativas de ganhos para os caracteres em questão (Tabela 4). Na cultura da soja, o uso de restrição no índice clássico e base foi eficiente para selecionar linhagens mais produtivas, com maior valor agrônômico e com maior altura de planta na maturação e também de linhagens mais produtivas, com maior valor agrônômico e com maior número de sementes e de vagens por plantas, com os três pesos econômicos utilizados (1, CVg e razão CVg/CVe) (Costa et al. 2004). Deste modo, o uso de restrição seguiu maximizar o ganho em um conjunto de caracteres em relação aos demais (Cruz and Carneiro 2006).

Os índices clássico e base, também, foram testados com um peso econômico equivalente ao coeficiente de variação genético (CVg), sem e com o uso de restrição (Tabela 4). Nesse caso, alterações indesejáveis foram constatadas para a altura de inserção da primeira vagem e para a concentração dos minerais e as estimativas de ganho de seleção obtidas em cada índice foram idênticas para os caracteres individuais e no total. Isso aconteceu porque na estimativa do ganho de seleção, a herdabilidade é definida previamente e o diferencial de seleção varia dependendo das linhagens selecionadas. Como as estimativas foram iguais para cada caractere e no total, as linhagens selecionadas foram as mesmas quando se considerou o CVg como peso econômico nos índices clássico e base, resultando em um mesmo diferencial de seleção. No entanto, Costa et al. (2004) conseguiram selecionar, em geração precoce, linhagens de soja com superioridade para caracteres morfológicos e da produtividade de grãos utilizando os índices clássico e base, com CVg como peso econômico.

No índice livre de pesos e parâmetros nenhuma linhagem foi selecionada com valor de  $K_i$  mínimo igual a um ganho de 10% da média e com restrição, exceto na situação testada de pesos econômicos iguais a zero para as concentrações de potássio e de zinco (Tabela 4). Provavelmente, o valor de  $K_i$  adotado para esse conjunto de dados foi muito rigoroso, pois para uma linhagem ser selecionada por esse índice é preciso que apresente um valor fenotípico superior ao valor de  $K_i$  estipulado em todos os caracteres considerados na análise (Elston 1963). O uso do índice livre de pesos e parâmetros, também, não foi eficiente para selecionar linhagens de feijão em geração  $F_7$  para caracteres agrônômicos e concentração de cálcio e de ferro nos grãos (Jost et al. 2013). Entretanto, esse índice foi eficiente para a seleção simultânea de sete caracteres avaliados em 52 genótipos de feijão caupi (Santos and Araujo, 2001) e para a seleção simultânea de oito caracteres determinados em 92 genótipos de alfafa (Vasconcelos et al. 2010). As diferenças observadas se justificam pelo fato de que o ganho de seleção estimado por esse índice depende da variabilidade genética do germoplasma avaliado e do valor de  $K_i$  estipulado (Santos and Araujo 2001; Vasconcelos et al. 2010; Jost et al. 2013). O índice livre de pesos e

parâmetros apresenta as vantagens de não necessitar que pesos econômicos sejam estabelecidos e nem que as variâncias e covariâncias genotípicas e fenotípicas sejam estimadas (Cruz and Regazzi 1997).

No índice baseado nos ganhos desejados, testado com o CVg e com um ganho de 10% em relação a média para todos os caracteres, foram obtidas estimativas de ganhos de seleção individuais e totais favoráveis aos propósitos da seleção: maior altura de inserção da primeira vagem, alta produtividade de grãos e alta concentração de potássio, fósforo e zinco nos grãos (Tabela 4). No entanto, quando o CVg foi usado como peso econômico, a maioria dos ganhos de seleção individuais e o ganho de seleção total foram de maior magnitude. O CVg é um parâmetro adimensional, proporcional a variância genética disponível, e de certa forma, mantém a proporcionalidade entre os caracteres (Cruz 1990). Por isso, o uso do índice baseado nos ganhos desejados, usando o CVg como peso econômico, foi mais eficaz para selecionar linhagens de feijão superiores para caracteres agrônômicos e nutricionais no presente estudo.

O uso de restrição, no índice baseado nos ganhos desejados, foi eficiente para selecionar linhagens com melhor desempenho agrônômico associado a biofortificação de um mineral nos grãos, na maioria das situações testadas, com ambos pesos econômicos empregados (Tabela 4). Esse índice sob restrição também obteve resultados satisfatórios na cultura da soja, porém com outro peso econômico, o desvio padrão genético (Costa et al. 2004). Em algumas situações foi observado ganhos individuais para os outros minerais, que receberam peso igual a zero, de magnitude favoráveis para os propósitos da seleção (Tabela 4). Isso se deve ao fato de que os caracteres sob restrição não serão totalmente desconsiderados na seleção, pois, individualmente, devido as suas correlações genéticas com o mérito econômico ou as suas covariâncias fenotípicas com outros caracteres, esses caracteres podem de ser incluídos com considerável peso no índice de seleção (Hazel and Lush 1942).

No índice multiplicativo foi possível obter estimativas de ganhos de seleção positivas para todos os caracteres avaliados, o que atende aos propósitos desse estudo (Tabela 4). Portanto, o índice multiplicativo foi eficiente para selecionar linhagens de feijão de alto desempenho agrônômico e biofortificadas para minerais, confirmando resultados prévios obtidos por Jost et al (2013). Esse índice, também, foi aplicado com sucesso na seleção simultânea de genótipos superiores de feijão caupi para sete caracteres que conferem alto desempenho agrônômico (Santos and Araujo 2001). Além disso, quando se usa o índice multiplicativo não há a necessidade de se estabelecer pesos econômicos ou ganhos desejados e isso resulta em praticidade e em simplicidade no uso dessa estratégia de seleção (Subandi et al. 1973).

O índice baseado na soma de “ranks”, testado com o CVg como peso econômico, propiciou a obtenção de estimativas de ganhos de seleção individuais positivas e bem equilibradas e ganho de seleção total de 26,91%

(Tabela 4). Portanto, foi uma estratégia eficiente para a seleção simultânea de linhagens de feijão pela superioridade na arquitetura de planta, pela maior produtividade de grãos e pela maior concentração de potássio, fósforo e zinco nos grãos. Nesse índice, as linhagens foram classificadas com relação a cada um dos caracteres, em ordem favorável ao melhoramento, e as ordens de cada linhagem foram somadas a fim de constituir o índice, como recomendado por Cruz and Regazzi (1997). Todavia, pesos econômicos, também, podem ser adicionados a essas ordens de classificação como realizado no presente estudo e por Costa et al. (2004) e Almeida et al. (2014). Esses autores, de forma similar constataram que o uso do índice baseado na soma de “ranks”, com o CVg testado como peso econômico, foi eficiente na seleção de linhagens superiores para vários caracteres nas culturas da soja (Costa et al. 2004) e da cana-de-açúcar (Almeida et al. 2014). Utilizando restrição nesse índice, o CVg também se destacou como uma estratégia de seleção para selecionar linhagens com melhor desempenho agrônômico e biofortificadas para um mineral (Tabela 4). No estudo de Costa et al. (2004), o CVg também apresentou melhores resultados, com maiores ganhos totais, quando comparado com os outros pesos econômicos testados (1 e razão CVg/CVe).

Considerando as estimativas de ganho genético individuais e totais, os índices mais promissores para a seleção simultânea de linhagens de feijão com maior a altura de inserção da primeira vagem, alta produtividade de grãos e alta concentração de potássio, fósforo e zinco nos grãos foram: (1) base (peso econômico equivalente a um ganho de 10% na média para todos caracteres); (2) soma de “ranks” (peso econômico igual ao CVg, sem restrição); (3) multiplicativo; (4) clássico (peso econômico equivalente a um ganho de 10% na média para todos os caracteres); (5) ganhos desejados (peso econômico equivalente ao CVg, sem restrição); e ganhos desejados (peso econômico equivalente a um ganho de 10% na média para todos caracteres) (Tabela 4). Desses, o índice multiplicativo mostrou ser a melhor estratégia a ser utilizada para a seleção simultânea de caracteres que conferem alto desempenho agrônômico e para a biofortificação dos grãos de feijão, pois as estimativas de ganhos foram distribuídas mais uniformemente entre os caracteres e pela facilidade de implementação na rotina do programa de melhoramento. Quando o uso de restrição foi aplicado ao conjunto de dados, as estimativas de ganho individuais foram variáveis conforme o índice seleção e o peso econômico testado. Entretanto, a restrição foi uma estratégia válida para maximizar ganhos em um conjunto de caracteres.

De maneira geral, as estimativas de ganhos de seleção totais foram baixas, variando de 10,29% (soma de “ranks” com peso econômico proporcional a um ganho de 10% na média e nulo para a concentração de potássio e de zinco) a 28,34% (base com peso econômico proporcional a um ganho de 10% na média para todos os caracteres) (Tabela 4). Isso pode ser justificado pela pouca variabilidade genética observada nas linhagens

para os caracteres avaliados e também pelas diferenças entre as épocas de cultivo, em especial quanto às temperaturas média máxima e mínima, precipitação, radiação solar e ocorrência de pragas e de doenças. Mas, estimativas de ganho genético obtidas em dois ambientes caracterizam melhor as linhagens para os caracteres avaliados e esse é o primeiro registro na literatura que considera o efeito de épocas de cultivo. Mesmo assim, os índices mais promissores identificaram 17 linhagens de feijão superiores para desempenho agrônomico e biofortificação dos grãos (Tabela 5). Dessas, quatro linhagens L 72, L 97, L 137 e L 146 foram selecionadas em todos os índices (Tabela 6).

As linhagens L 72, L 97, L 137 e L 146 apresentaram, pelo menos, dois caracteres que não diferiram significativamente dos melhores parentais (Tabela 6). Essas linhagens serão selecionadas para compor o ensaio preliminar para avaliação e possível registro de novas cultivares de feijão de alto desempenho agrônomico e biofortificadas para potássio, fósforo e zinco. Destas, a linhagem L 146 foi considerada muito promissora para o programa de melhoramento, pois foi classificada pelo teste de Scott-Knott no grupo de maior média para a produtividade de grãos ( $2.475,74 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e a concentração de potássio ( $17,66 \text{ g kg}^{-1}$  de MS) e de fósforo ( $5,07 \text{ g kg}^{-1}$  de MS). Também, integra as linhagens que constituem o segundo grupo de estratificação para a altura de inserção da primeira vagem ( $18,21 \text{ cm}$ ) e para a concentração de zinco ( $26,04 \text{ mg kg}^{-1}$  de MS). Cabe destacar, que a L 146 apresentou altura de inserção da primeira vagem superior aos  $9,3 \text{ cm}$  recomendado para a altura de corte da colhedora automotriz axial (Silva et al. 2009), o que possibilita que seja realizada a colheita mecanizada dessa linhagem. Além disso, possui alta concentração de zinco quando comparada com os valores encontrados em grãos de linhagens e de cultivares em cultivo no Brasil (Ribeiro et al. 2008; Ribeiro et al. 2014). Portanto, o uso índices de seleção foi eficiente, também, para a identificação das linhagens de feijão mais promissoras para continuar em avaliação no programa de melhoramento.

### 3.4 Conclusões

A seleção direta possibilita alto ganho de seleção para caracteres individuais, mas provoca alterações indesejáveis nos demais caracteres sob seleção. O índice multiplicativo é a melhor estratégia de seleção simultânea para identificar linhagens de feijão de arquitetura ereta, alta produtividade de grãos e alta concentração de potássio, fósforo e zinco nos grãos. As linhagens L 72, L97, L 137 e L 146 apresentam arquitetura ereta, alta produtividade de grãos e alta concentração de potássio, de fósforo e de zinco nos grãos e são indicadas para continuar em avaliação pelo programa de melhoramento.



**3.5 Agradecimentos** À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas concedidas. Ao Sr. Euzebio Maziero pelo auxílio na condução dos experimentos.

### 3.6 Referências

- Adams MW (1967) Basis of yield component compensation in crop plants with special reference to the field bean, *Phaseolus vulgaris*. *Crop Sci* 7:505-510
- Almeida LM, Viana AP, Amaral Júnior AT, Carneiro Júnior, J de B (2014) Breeding full-sib families of sugar cane using selection index. *Cienc Rural* 44:605-611. doi: 10.1590/S0103-84782014000400005
- Bertini CHC de M, Almeida WS de, Silva APM da, Lima JW, Teófilo, EM (2010) Análise multivariada e índice de seleção na identificação de genótipos superiores de feijão-caupi. *Acta Sci Agron* 32:613-619. doi 10.4025/actasciagron.v32i4.4631
- Bertoldo JG, Barili LD, Vale NM do, Coimbra JLM, Stahelin D, Guidolin AF (2010) Genetic gain in agronomic traits of common bean in the region of Planalto Catarinense. *Euphytica* 171:381-388. doi: 10.1007/s10681-009-0043-0
- Blair MWJ (2013) Mineral biofortification strategies for food staples: the example of common bean. *J Agric Food Chem* 61: 8287-8294. doi: 10.1021/jf400774y
- Costa MM, Di Mauro AO, Unêda-Trevisoli SH, Arriel NHC, Bárbaro IM, Muniz FRS (2004) Ganho genético por diferentes critérios de seleção em populações segregantes de soja. *Pesq Agropec Bras* 39:1095-1102. doi: 10.1590/S0100-204X2004001100007
- Cruz CD (1990) Aplicação técnica de análise multivariada no melhoramento de plantas. Monografia, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
- Cruz CD (2013) GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Sci Agron* 35:271-276. doi: 10.4025/actasciagron.v35i3.21251
- Cruz CD, Carneiro PCS (2006) Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 2nd edn. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa
- Cruz CD, Regazzi AJ (1997) Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 2nd edn. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa
- Elston RC (1963) A weight-free index for the purpose of ranking or selection with respect to several traits at a time. *Biometrics* 19:85-97

- Falconer DS (1987) Introdução à genética quantitativa. Imprensa Universitária UFV, Viçosa
- Franco G (2005) Tabela de composição química dos alimentos. 9th edn. Atheneu, Rio de Janeiro
- Hazel LN (1943) The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics* 28:476-490
- Hazel LN, Lush JL (1942) The efficiency of three methods of selection. *J Hered* 33:393-399
- Jost E, Ribeiro ND, Maziero SM, Possobom MTDF, Rosa DP, Domingues L da S (2013) Comparison among direct, indirect and index selections on agronomic traits and nutritional quality traits in common bean. *J Sci Food Agricult* 93:1097-1104. doi: 10.1002/jsfa.5856
- Mendes FF, Ramalho MAP, Abreu AFB (2009) Índice de seleção para escolha de populações segregantes de feijoeiro-comum. *Pesq Agropec Bras* 44:1312-1318. doi: 10.1590/S0100-204X2009001000015
- Miyazawa M, Pavan MA, Muraoka T, Carmo CAFS, Mello WJ (1999) Análises químicas de tecido vegetal. In: Silva FC (ed) Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. EMBRAPA Solos, Brasília, pp 171-223
- Moura MM, Carneiro PCS, Carneiro JES, Cruz CD (2013) Potencial de caracteres na avaliação da arquitetura de plantas de feijão. *Pesq Agropec Bras* 48:417-425. doi: 10.1590/S0100-204X2013000400010
- Mulamba NN, Mock JJ (1978) Improvement of yield potential of the Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. *Egypt J Genet Cytol* 7:40-51
- Oliveira TC (2007) Fósforo: função, metabolismo e recomendações. *Rev Dig Nut* 1:1-24
- Pesek J, Baker RJ (1969) Desired improvement in relation to selected indices. *Can J Plant Sci* 49:803-804
- Pfeiffer WH, McClafferty B (2007) HarvestPlus: Breeding crops for better nutrition. *Crop Sci* 47:S88-S105. doi: 10.2135/cropsci2007.09.0020IPBS
- Poersch NL, Ribeiro ND, Rosa DP, Possobom MTDF (2011) Genetic control of potassium content of common bean seeds. *Pesq Agropec Bras* 46:626-632. doi: 10.1590/S0100-204X2011000600008
- Poersch NL, Ribeiro ND, Rosa DP, Maziero SM, Jost E (2013) Genetics of the concentration of copper in common bean seeds. *Acta Sci Agron* 35:301-306. doi: 10.4025/actasciagron.v35i3.16520
- Ribeiro EH, Pereira MG, Coelho K de S, Freitas Júnior S de P (2009) Estimativas de parâmetros genéticos e seleção de linhagens endogâmicas recombinantes de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). *Rev Ceres* 56:580-590
- Ribeiro ND, Jost E, Cerutti T, Maziero SM, Poersch NL (2008) Composição de microminerais em cultivares de feijão e aplicações para o melhoramento genético *Bragantia* 67:267-273

- Ribeiro ND, Mambrin RB, Storck L, Prigol M, Nogueira CW (2013) Combined selection for grain yield, cooking quality and minerals in the common bean. *Rev Cienc Agron* 44:869-877. doi: 10.1590/S1806-66902013000400025
- Ribeiro ND, Rodrigues JA, Prigol M, Nogueira CW, Storck L, Gruhn EM (2014) Evaluation of special grains bean lines for grain yield, cooking time and mineral concentrations. *Crop Breed Appl Biotechnol* 14:15-22. doi: 10.1590/S1984-70332014000100003
- Ribeiro ND, Rosa SS, Jost E, Rosa DP, Poersch NL, Maziero SM (2011) Genetics of phosphorus content in common bean seeds. *Crop Breed Appl Biotechnol* 11:250-256. doi: 10.1590/S1984-70332011000300007
- Rosa SS, Ribeiro ND, Jost E, Reiniger LRS, Rosa DP, Cerutti T, Possobom MTFD (2010) Potential for increasing the zinc content in common bean using genetic improvement. *Euphytica* 175:207-213. doi: 10.1007/s10681-010-0163-6
- Santos CAF, Araújo FP de (2001) Aplicação de índices para seleção de caracteres agronômicos de feijão-de-corda. *Ver Ciênc Agron* 32:78-84
- Silva CA, Abreu AFB, Ramalho MAP, Maia LGS (2012) Chemical composition as related to seed color of common bean. *Crop Breed Appl Biotechnol* 12:132-137. doi: 10.1590/S1984-70332012000200006
- Silva HD, Ferreira DF, Pacheco CAP (2000) Avaliação de quatro alternativas de análise de experimentos em látice quadrado, quanto à estimação de componentes de variância. *Bragantia* 59:117-123. doi: 10.1590/S0006-87052000000100018
- Silva JG, Aidar H, Kluthcouski J (2009) Colheita direta de feijão com colhedora automotriz axial. *Pesq Agropec Trop* 39:371-379
- Smith HF (1936) A discriminant function for plant selection. *Ann Eugen* 7:240-250
- Subandi W, Compton A, Empig LT (1973) Comparison of the efficiencies of selection indices for three traits in two variety crosses of corn. *Crop Sci* 13:184-186. doi: 10.2135/cropsci1973.0011183X001300020011x
- Vasconcelos ES de, Ferreira R de P, Cruz CD, Moreira A, Rassini JB, Freitas AR de (2010) Estimativas de ganho genético por diferentes critérios de seleção em genótipos de alfafa. *Rev Ceres* 57:205-210. doi: 10.1590/S0034-737X2010000200011
- Williams JS (1962) The evaluation of a selection index. *Biometrics* 18:375-393

**Tabela 1** Análise de variância conjunta contendo os quadrados médios, média, coeficiente de variação experimental (CV, %) e eficiência do delineamento látice (%) para os caracteres altura de inserção da primeira vagem (A1V, cm), produtividade de grãos (PROD, kg ha<sup>-1</sup>), concentração de potássio (K, g kg<sup>-1</sup> de matéria seca - MS), de fósforo (P, g kg<sup>-1</sup> de MS), de zinco (Zn, mg kg<sup>-1</sup> de MS) e de cobre nos grãos (Cu, mg kg<sup>-1</sup> de MS) de 169 linhagens de feijão, avaliadas nos cultivos de safra e de safrinha. Santa Maria - RS, UFSM, 2014.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio					
		A1V	PROD	K	P	Zn	Cu
Bloco	1	7,76	418143,79	15,34	24,17	450,30	0,53
Linhagem (L)	168	18,47 **	466773,56 **	3,40 **	0,60 **	37,22 **	13,17 <sup>ns</sup>
Época (E)	1	18449,89 **	11615546,72 **	88,20 **	16,88 **	9541,31 **	804,16 **
L*E	168	14,10 **	389708,35 **	2,08 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>	23,15 *	15,38 <sup>ns</sup>
Resíduo	337	4,96	125356,11	1,75	0,33	18,43	19,78
Média		16,64	1864,01	16,74	4,90	27,30	13,40
CV (%)		13,38	18,99	7,89	11,69	15,72	33,18
Eficiência do látice		101,62	107,15	116,94	120,95	104,26	114,57

<sup>ns</sup> Não-significativo pelo teste F

\* e \*\* Significativo a 5 e a 1% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente

**Tabela 2** Coeficientes de correlação Pearson entre os caracteres altura de inserção da primeira vagem (A1V), produtividade de grãos (PROD), concentração de potássio (K), de fósforo (P) e de zinco nos grãos (Zn) obtidos em 169 linhagens de feijão avaliadas nos cultivos de safra e de safrinha. Santa Maria - RS, UFSM, 2014.

Caracteres	PROD	K	P	Zn
A1V	-0,10 <sup>ns</sup>	0,22 **	0,20 **	0,16 *
PROD		-0,29 **	-0,41 **	-0,34 **
K			0,46 **	0,28 **
P				0,34 **

<sup>ns</sup> Não-significativo pelo teste *t*

\* e \*\* Significativo a 5 e a 1% de probabilidade, pelo teste *t*, respectivamente

**Tabela 3** Ganhos de seleção (%) com a seleção direta, ganhos indiretos (%) e ganhos de seleção para os caracteres altura de inserção da primeira vagem (A1V, cm), produtividade de grãos (PROD, kg ha<sup>-1</sup>), concentração de potássio (K, g kg<sup>-1</sup> de matéria seca - MS), de fósforo (P, g kg<sup>-1</sup> de MS) e de zinco nos grãos (Zn, mg kg<sup>-1</sup> de MS), a partir da seleção de 17 linhagens (10% das linhagens) das 169 linhagens de feijão avaliadas nos cultivos de safra e de safrinha. Santa Maria - RS, UFSM, 2014.

Seleção em	Ganho de seleção (%)				
	A1V	PROD	K	P	Zn
A1V	17,58	-2,56	1,31	0,45	1,62
PROD	-3,67	25,26	-1,28	-1,73	-3,31
K	3,97	-7,94	4,82	2,92	2,42
P	4,56	-8,66	2,16	6,37	3,12
Zn	2,72	-5,87	2,47	3,09	9,91
-----					
Seleção em	Ganho de seleção				
A1V	2,92	-47,71	0,22	0,02	0,44
PROD	-0,61	470,92	-0,21	-0,08	-0,90
K	0,66	-147,95	0,81	0,14	0,66
P	0,76	-161,45	0,36	0,31	0,85
Zn	0,45	-109,40	0,41	0,15	2,71

**Tabela 4** Ganhos de seleção esperados (%) com a seleção simultânea dos caracteres altura de inserção da primeira vagem (A1V), produtividade de grãos (PROD), concentração de potássio (K), de fósforo (P) e de zinco nos grãos (Zn), a partir da seleção de 17 linhagens (10% das linhagens) das 169 linhagens de feijão avaliadas nos cultivos de safra e de safrinha. Santa Maria - RS, UFSM, 2014.

Índice	Peso econômico	Situação testada	Ganho de seleção esperado (%)					Ganho total
			A1V	PROD	K	P	Zn	
Clássico	CVg <sup>1</sup>	I <sup>3</sup>	-3,99	25,04	-1,35	-2,83	-4,83	12,04
Clássico		II <sup>4</sup>	-3,99	25,04	-1,35	-2,83	-4,83	12,04
Clássico		III <sup>5</sup>	-3,99	25,04	-1,35	-2,83	-4,83	12,04
Clássico		IV <sup>6</sup>	-3,99	25,04	-1,35	-2,83	-4,83	12,04
Clássico	10% <sup>2</sup>	I <sup>3</sup>	14,26	6,43	0,37	1,19	3,68	25,93
Clássico		II <sup>4</sup>	10,81	16,53	-0,06	-2,23	-1,66	23,39
Clássico		III <sup>5</sup>	10,68	16,43	-0,23	-0,81	-1,15	24,92
Clássico		IV <sup>6</sup>	13,21	11,33	-0,58	-0,51	1,50	24,95
Base	CVg <sup>1</sup>	I <sup>3</sup>	-1,59	25,26	-1,07	-1,64	-2,70	18,26
Base		II <sup>4</sup>	-1,59	25,26	-1,07	-1,64	-2,70	18,26
Base		III <sup>5</sup>	-1,59	25,26	-1,07	-1,64	-2,70	18,26
Base		IV <sup>6</sup>	-1,59	25,26	-1,07	-1,64	-2,70	18,26
Base	10% <sup>2</sup>	I <sup>3</sup>	11,61	9,64	1,49	1,53	4,07	28,34
Base		II <sup>4</sup>	10,16	16,79	0,80	-1,29	-1,62	24,84
Base		III <sup>5</sup>	9,15	16,75	0,08	0,45	-0,45	25,98
Base		IV <sup>6</sup>	10,88	12,84	0,68	0,37	2,97	27,74
Livre de pesos	10% <sup>2</sup>	I <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Livre de pesos		II <sup>4</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Livre de pesos		III <sup>5</sup>	8,82	8,18	-2,46	6,30	1,71	22,55
Livre de pesos		IV <sup>6</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ganhos desejados	CVg <sup>1</sup>	I <sup>3</sup>	3,97	5,55	1,46	4,81	3,88	19,67
Ganhos desejados		II <sup>4</sup>	12,97	3,80	3,09	0,89	0,08	20,83
Ganhos desejados		III <sup>5</sup>	2,61	2,72	0,43	5,24	1,44	12,44
Ganhos desejados		IV <sup>6</sup>	14,63	-1,25	-0,56	-2,09	2,67	13,40
Ganhos desejados	10% <sup>2</sup>	I <sup>3</sup>	2,03	1,97	0,91	5,32	2,12	12,35
Ganhos desejados		II <sup>4</sup>	3,99	2,49	4,25	1,39	1,08	13,20
Ganhos desejados		III <sup>5</sup>	2,61	2,72	0,43	5,24	1,44	12,44
Ganhos desejados		IV <sup>6</sup>	15,36	-2,71	-0,14	-1,97	2,50	13,04
Soma de "ranks"	CVg <sup>1</sup>	I <sup>3</sup>	9,81	8,53	1,74	2,51	4,32	26,91
Soma de "ranks"		II <sup>4</sup>	10,10	13,26	0,98	-0,80	-0,94	22,60
Soma de "ranks"		III <sup>5</sup>	11,16	10,58	0,50	1,64	1,30	25,18
Soma de "ranks"		IV <sup>6</sup>	9,12	10,95	-0,12	0,93	3,52	24,40
Soma de "ranks"	10% <sup>2</sup>	I <sup>3</sup>	8,10	-9,73	3,70	5,52	5,16	12,75
Soma de "ranks"		II <sup>4</sup>	12,61	-7,72	3,66	3,02	3,65	15,22
Soma de "ranks"		III <sup>5</sup>	7,89	-8,86	1,98	5,94	3,34	10,29
Soma de "ranks"		IV <sup>6</sup>	12,99	-4,35	1,34	2,28	7,16	19,42
Multiplicativo	-	-	10,95	6,41	1,81	2,59	5,03	26,79

<sup>1</sup> Pesos econômicos equivalentes ao CVg

<sup>2</sup> Pesos econômicos proporcionais a um ganho de 10% em relação a média

<sup>3</sup> Situação I: pesos econômicos atribuídos para todos os caracteres

<sup>4</sup> Situação II: pesos econômicos atribuídos para A1V, PROD e K e equivalente a zero para os caracteres secundários P e Zn

<sup>5</sup> Situação III: pesos econômicos atribuídos para A1V, PROD e P e equivalente a zero para os caracteres secundários K e Zn

<sup>6</sup> Situação IV: pesos econômicos atribuídos para A1V, PROD e Zn e equivalente a zero para os caracteres secundários K e P

**Tabela 5** Linhagens selecionadas pelos índices clássico (peso econômico equivalente a um ganho de 10% na média), base (peso econômico equivalente a um ganho de 10% na média), ganhos desejados (peso econômico equivalente ao CVg e a um ganho de 10% na média), multiplicativo e soma de “ranks” (peso econômico equivalente ao CVg) com os melhores resultados na seleção simultânea para os caracteres altura de inserção da primeira vagem (A1V), produtividade de grãos (PROD), concentração de potássio nos grãos (K), de fósforo (P) e de zinco nos grãos (Zn), a partir da seleção de 17 linhagens (10% das linhagens) das 169 linhagens de feijão avaliadas nos cultivos de safra e de safrinha. Santa Maria - RS, UFSM, 2014.

Nº	Linhagens selecionadas					
	Clássico	Base	Ganhos desejados <sup>1</sup>	Ganhos desejados <sup>2</sup>	Multiplicativo	Soma de "ranks"
1	T5*	95	145	145	95	95
2	120	137	72	72	137	137
3	81	33	137	97	33	133
4	37	T5*	143	41	72	72
5	95	72	41	137	T5*	T4*
6	133	146	97	143	133	146
7	23	133	146	100	146	T5*
8	137	120	78	112	T4*	156
9	163	T4*	112	78	120	97
10	33	81	84	146	81	81
11	72	17	33	144	156	125
12	1	97	125	98	97	33
13	146	156	89	89	125	120
14	97	125	95	84	143	143
15	65	163	98	125	37	84
16	82	37	144	115	1	163
17	T3*	1	T4*	67	84	73

<sup>1</sup> Pesos econômicos equivalentes ao CVg para cada caractere

<sup>2</sup> Pesos econômicos proporcionais a um ganho de 10% em relação a média para cada caractere

\* Parentais: T3: IAPAR 31, T4: BRS Expedito, T5: Pérola



**Tabela 6** Média das melhores linhagens de feijão comuns identificadas pelos índices de seleção e dos parentais para os caracteres altura de inserção da primeira vagem (A1V, cm), produtividade de grãos (PROD, kg ha<sup>-1</sup>), concentração de potássio (K, g kg<sup>-1</sup> de matéria seca - MS), de fósforo (P, g kg<sup>-1</sup> de MS) e de zinco nos grãos (Zn, mg kg<sup>-1</sup> de MS) avaliadas nos cultivos de safra e de safrinha. Santa Maria - RS, UFSM, 2014.

Linhagens e parentais	A1V	PROD	K	P	Zn
L 72	19,16 a*	1880,11 c	17,55 a	5,70 a	31,14 a
L 97	18,65 b	2072,51 b	15,90 b	5,58 a	28,23 a
L 137	17,59 b	2048,49 b	17,00 a	5,60 a	35,50 a
L 146	18,21 b	2475,74 a	17,66 a	5,07 a	26,04 b
BRS Expedito	18,22 b	2084,59 b	18,04 a	5,18 a	29,17 a
BRS Valente	18,61 b	1814,01 c	17,60 a	5,16 a	24,12 b
Diamante Negro	17,85 b	1719,54 c	17,93 a	5,32 a	25,20 b
Guapo Brilhante	15,74 c	2177,94 b	14,58 b	4,24 b	29,15 a
IAPAR 31	19,54 a	1945,33 b	15,90 b	4,70 b	27,62 b
IAPAR 44	16,86 B	2021,99 b	17,55 a	4,77 b	26,74 b
Pérola	22,09 A	2317,91 a	16,34 b	4,68 b	28,01 a
TPS Bonito	13,78 C	2108,00 b	17,38 a	4,73 b	28,83 a
TPS Nobre	17,66 B	1751,63 c	16,94 a	4,60 b	28,99 a

\* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade

## 4 DISCUSSÃO

No primeiro artigo foram estimados parâmetros genéticos para os caracteres morfológicos (nota de acamamento, nota geral de adaptação, altura de inserção da primeira vagem e altura de inserção da última vagem), fenológicos (ciclo), da produção (número de vagens por planta, número de grãos por planta, massa de 100 grãos e produtividade de grãos) e nutricionais (concentração de potássio, de fósforo, de zinco e de cobre nos grãos) nas quatro populações biofortificadas. O artigo 2 teve foco na seleção simultânea dos caracteres altura de inserção da primeira vagem e produtividade de grãos, para caracterizar o desempenho agrônomico, e a concentração de minerais nos grãos, para caracterizar o melhoramento da qualidade nutricional.

Variabilidade genética foi verificada dentro e entre as quatro populações avaliadas para a maioria dos caracteres, indicando a possibilidade de seleção de linhagens superiores de feijão para caracteres morfológicos, fenológicos, de produção e nutricionais. Entretanto, algumas dificuldades para a seleção poderão ser verificadas em alguns caracteres (nota de acamamento, nota geral de adaptação, altura de inserção da primeira vagem, altura de inserção da última vagem, ciclo, número de vagens por planta, número de grãos por planta, massa de 100 grãos, produtividade de grãos e concentração de zinco nos grãos) em função da ocorrência de interação linhagem x ambiente, que afeta a expressão fenotípica destes caracteres, sendo que uma linhagem superior para determinado caractere na safra, pode não ser a mesma na safrinha. Na cultura do feijão há vários estudos que relataram a presença de interação linhagem x ambiente significativa para caracteres morfológicos, fenológicos, da produção e nutricionais (MORAGHAN; GRAFTON, 2001; RIBEIRO et al., 2004; CARGNELUTTI FILHO et al., 2006; PEREIRA et al., 2012; MOURA et al., 2013; RIBEIRO et al., 2013).

Para a concentração de cobre apenas os efeitos ambientais foram significativos na análise de variância conjunta. Deste modo, não foi possível estimar parâmetros genéticos e esse caractere foi excluído da análise estatística destinada a seleção simultânea de caracteres, que compõem o artigo 2. Em linhagens avançadas de feijão, Ribeiro et al. (2013), também, não observaram variabilidade genética para a concentração de cobre nos grãos. Adicionalmente, foi obtido alto coeficiente de variação para a concentração de cobre nos grãos (33,18%), indicando baixa precisão na obtenção desta estimativa, corroborando com o

que foi relatado no estudo de Ribeiro et al. (2013). Em experimentos com altos valores de coeficiente de variação, as diferenças entre tratamentos podem não ser detectadas, quando na realidade elas existem, resultando no erro tipo II (JUDICE et al., 2002). De acordo com Federer (1957), o erro tipo II pode ser atribuído à heterogeneidade do material experimental ou ao método de condução da pesquisa. Como os demais minerais avaliados no presente estudo apresentaram boa precisão, a hipótese é de que pode ter ocorrido alguma contaminação de cobre nas amostras de forma não sistemática.

No primeiro artigo, se verificou que nas quatro populações avaliadas os caracteres massa de 100 grãos e produtividade apresentaram alta herdabilidade em geração avançada ( $F_{6:8}$ ). Deste modo, há maiores chances de se obter ganhos com a seleção nesses caracteres. Os demais caracteres apresentaram diferentes magnitudes de herdabilidade em função da população considerada. Agregando-se a informação da razão  $CV_g/CV_e$ , verificou-se que houve predominância de efeitos ambientais sobre os genéticos para a maioria dos caracteres (razão  $CV_g/CV_e$  menor que 1), exceto para nota de acamamento e altura de inserção da última vagem na população segregante para potássio e massa de 100 grãos nas populações segregantes para potássio, fósforo e zinco. Portanto, com base nos parâmetros genéticos estimados, entre todos os caracteres avaliados no presente estudo, pode-se afirmar que a massa de 100 grãos é o caractere com maior potencial de se obter ganhos com a seleção, e assim se conseguir identificar linhagens superiores. Considerando o desempenho médio das populações, se verificou um desempenho médio similar aos parentais e, portanto, foram obtidas linhagens com bom padrão para desempenho agrônomo e nutricional.

No artigo 2, que visou a seleção simultânea de linhagens com maior altura de inserção da primeira vagem, alta produtividade de grãos e maior concentração de potássio, de fósforo, de zinco e de cobre nos grãos, estimativas de ganhos foram obtidas, contribuindo para que bons resultados fossem alcançados com a utilização de índices de seleção. Já, a seleção direta não foi eficiente na seleção de linhagens com alto desempenho agrônomo e biofortificadas quanto à concentração de minerais, possivelmente em função das correlações de sinal negativo verificadas entre os caracteres. Assim, na seleção direta ganhos positivos foram verificados no caractere sob seleção, porém nos demais caracteres não foram obtidos ganhos no sentido da proposta do melhoramento. Esta situação foi relatada por diversos autores na cultura do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* L.) (SANTOS; ARAÚJO, 2001), do café (*Coffea canephora*) (FERREIRA et al., 2005), da alfafa (*Medicago sativa* L.) (VASCONCELOS et al., 2010), do milho (*Zea mays* L.) (BERILLI et al., 2013) e do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) (JOST et al., 2013). De acordo com Santos e Araújo (2001), os efeitos

indesejáveis da seleção direta podem ser explicados pelas correlações existentes entre os caracteres.

Os índices de seleção apresentaram ganhos mais equilibrados entre os caracteres. Além disso, os índices clássico, base, livre de pesos e parâmetros, baseado nos ganhos desejados, multiplicativo e baseado na soma de “ranks” apresentaram diferenças entre si quanto aos ganhos obtidos em cada caractere e quanto ao ganho total, dependendo do peso econômico adotado (CVg ou ganho de 10% na média) (clássico, base, baseado nos ganhos desejados e baseado na soma de “ranks”) ou valor de Ki utilizado (livre de pesos e parâmetros). Sendo que, não foi verificado um peso econômico adequado para todos os índices avaliados. Deste modo, se percebe a importância que os pesos econômicos têm nos índices de seleção.

Na condição de se buscar ganhos mais equilibrados em todos os caracteres avaliados (sem restrição – com pesos econômicos atribuídos para todos os caracteres), o índice base (peso econômico equivalente a um ganho de 10% na média para cada caractere), o índice baseado na soma de “ranks” (peso econômico equivalente ao CVg) e o índice multiplicativo foram os mais eficientes na seleção simultânea, resultando em ganhos totais de 28,34, 26,91 e 26,79%, respectivamente. Destes, o índice multiplicativo merece destaque, pois não precisa que pesos econômicos ou ganhos desejados sejam estipulados, o que facilita a sua aplicabilidade (CRUZ; REGAZZI, 1997).

Em outra situação, preconizando o ganho em apenas um mineral e esse ganho associado a alto desempenho agrônomico, utilizando restrição para dois dos três minerais avaliados (peso econômico igual zero), se verificou que os índices clássico (peso econômico equivalente a um ganho de 10% na média), o índice base (peso econômico equivalente a um ganho de 10% na média), o índice livre de pesos e parâmetros (Ki igual a um ganho de 10% na média), o índice baseado nos ganhos desejados (CVg e peso econômico equivalente a um ganho de 10% na média) e o índice baseado na soma dos “ranks” (CVg) atenderam a essa proposta. Portanto, testados dessa forma, praticamente todos os índices avaliados no presente estudo foram eficientes, exceto quando o CVg foi utilizado no índice clássico e no índice base, e o ganho de 10% na média foi empregado no índice baseado na soma de “ranks”.

Em alguns casos, mesmo na condição de restrição, ganhos para o desempenho agrônomico e nos três minerais foram obtidos em alguns índices (base, livre de pesos e parâmetros, baseado nos ganhos desejados e baseado na soma de “ranks”). Segundo, Hazel e Lush (1942) atribuir peso zero para determinados caracteres (uso de restrição) não significa que esses caracteres serão totalmente desconsiderados na seleção, pois individualmente,

devido as suas correlações genéticas com o mérito econômico ou de suas covariâncias fenotípicas com outros caracteres, estes caracteres podem de ser incluídos com considerável peso no índice de seleção.

Na maioria dos índices de seleção testados houve a seleção de cultivares parentais, o que retoma o resultado obtido no artigo 1, de que o desempenho das linhagens foi similar aos parentais. Contudo, com o emprego dos índices de seleção, foi possível identificar quatro linhagens promissoras para arquitetura ereta, alta produtividade de grãos e alta concentração de minerais nos grãos: L 72, L 97, L 137 e L 146. Ensaio preliminares com cultivares testemunhas podem ser feitos com essas quatro linhagens, e posteriormente, poderão ser inseridas nos Ensaio de Valor de Cultivo e Uso (VCU). Análises químicas de fatores antinutricionais, também, poderão ser realizadas para verificar a relação com a concentração de minerais, pois a biodisponibilidade de minerais está atrelada a fatores antinutricionais, principalmente ao ácido fítico, no caso dos minerais (SILVA; SILVA, 1999). Além disso, sugere-se que os experimentos látices devam continuar nas épocas de safra e safrinha, devendo ser expandido para mais locais, uma vez que, a interação genótipo x ambiente foi significativa para a maioria dos caracteres, demonstrando o efeito de época em Santa Maria.

## 5 CONCLUSÕES

A massa de 100 grãos e a produtividade de grãos apresentam alta herdabilidade em geração  $F_{6:8}$  nas quatro populações avaliadas. Para os caracteres nota de acamamento, altura de inserção da primeira vagem, ciclo, número de vagens por planta e número de grãos por planta se observa herdabilidade de moderada a alta magnitude. Estimativas de herdabilidade de baixa a alta magnitude foram obtidas para a altura de inserção da última vagem e para a concentração de fósforo nos grãos e de baixa a moderada magnitude para a concentração de potássio e de zinco nos grãos.

A maioria dos caracteres morfológicos, fenológicos, da produção e nutricionais apresentam predomínio de efeitos ambientais sobre os genéticos.

A seleção direta possibilita alto ganho de seleção para caracteres individuais, mas provoca alterações indesejáveis nos demais caracteres sob seleção.

O índice multiplicativo é a melhor estratégia de seleção simultânea para identificar linhagens de feijão de arquitetura ereta, alta produtividade de grãos e alta concentração de potássio, fósforo e zinco nos grãos.

As linhagens L 72, L97, L 137 e L 146 apresentam arquitetura ereta, alta produtividade de grãos e alta concentração de potássio, de fósforo e de zinco nos grãos e são indicadas para continuar em avaliação pelo programa de melhoramento.

## 6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. M. et al. Breeding full-sib families of sugar cane using selection index. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 04, p. 605-611, Apr. 2014.

ARAÚJO, R. S. et al. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: POTAFOS, 1996. 786 p.

BAKER, R.J. **Selection indices in plant breeding**. Florida: CRC Press, 1986. 218 p.

BARAMPAMA, Z.; SIMARD, R. E. Nutrient composition, protein quality and antinutritional factors of some varieties of dry beans (*Phaseolus vulgaris*) grown in Burundi. **Food Chemistry**, Barking, v. 47, n. 02, p. 159-167, 1993.

BERILLI, A. P. C. G. et al. Response to the selection in the 11<sup>th</sup> cycle of reciprocal recurrent selection among full-sib families of maize. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 35, n. 04, p. 435-441, Oct./Dec. 2013.

BERTOLDO, J. G. et al. Genetic gain in agronomic traits of common bean in the region of Planalto Catarinense. **Euphytica**, The Netherlands, v. 171, n. 3, p. 381-388, Feb. 2010.

BLAIR, M. W. J. Mineral biofortification strategies for food staples: the example of common bean. **Journal of Agricultural and Food and Chemistry**, California, v. 61, n. 35, p. 8287-8294, July. 2013.

BURATTO, J. S. et al. Adaptabilidade e estabilidade produtiva em genótipos precoces de feijão no estado do Paraná. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, n. 3, p. 373-380, jul./set. 2007.

CABRAL, P. D. S. et al. Análise de trilha do rendimento de grãos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e seus componentes. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 1, p. 132-138, jan./mar. 2011.

CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Número necessário de experimentos para a análise de trilha em feijão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 4, p. 564-572, abr. 2011.

CARGNELUTTI FILHO, A.; RIBEIRO, N. D.; JOST, E. Número necessário de experimentos para a comparação de cultivares de feijão. **Ciência Rural**, v. 36, n. 06, p. 1701-1709, nov./dez. 2006.

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

CIAT. Internacional Center for Tropical Agriculture. **Standard system for the evaluation of bean germplasm**. CIAT: Cali, 1987. 54 p.

COLLICCHIO, E.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Associação entre o porte da planta do feijoeiro e o tamanhos dos grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 3, p. 297-304, mar. 1997.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Séries históricas: Feijão 1ª, 2ª e 3ª safra**. Disponível em:  
<[http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2&Pagina\\_objcmsconteudos=2#A\\_objcmsconteudos](http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2&Pagina_objcmsconteudos=2#A_objcmsconteudos)>. Acesso em: 06 de jul. 2014.

COSTA, M. M. et al. Ganho genético por diferentes critérios de seleção em populações segregantes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1095-1102, nov. 2004.

COZZOLINO, S. M. F. **Biodisponibilidade de nutrientes**. São Paulo: Manole, 2007. 992 p.

CRUZ, C. D. **Aplicação técnica de análise multivariada no melhoramento de plantas**. 1990. 188 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1990.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2006. 585p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa: UFV, 1997. 390 p.

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

DWIVEDI, S. L. et al. Nutritionally enhanced staple food crops. **Plant Breeding Reviews**, [S.l.], v. 34, p. 169-262, 2012.



ELSTON, R. C. A weight-free index for the purpose of ranking or selection with respect to several traits at a time. **Biometrics**, Arlington, Carolina, v. 19, s/n, p. 85-97, 1963.

FEDERER, W. T. **Experimental design**. New York: John Wiley, 1957. 611 p.

FERREIRA, A. et al. Seleção simultânea de *Coffea canephora* por meio da combinação de análise de fatores e índices de seleção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 12, p. 1189-1195, dez. 2005.

FRANCO, G. **Tabela de composição química dos alimentos**. 9. ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2005. 307 p.

HAZEL, L. N. The genetic basis for constructing selection indexes. **Genetics**, New York, v. 28, n. 6, p. 476-490, Nov. 1943.

HAZEL, L. N.; LUSH, J. L. The efficiency of three methods of selection. **Journal of Heredity**, New York, v. 33, n. 11, p. 393-399, Nov. 1942.

JOST, E. et al. Comparison among direct, indirect and index selections on agronomic traits and nutritional quality traits in common bean. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 93, n. 05, p. 1097-1104, Mar. 2013.

JOST, E. et al. Methods of selecting common bean lines having high yield, early cycle and erect growth. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 45, n. 01, p. 101-110, Jan./Mar. 2014.

JUDICE, M. G.; MUNIZ, J. A.; CARVALHEIRO, R. Avaliação do coeficiente de variação em experimentos com suínos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 01, p. 170-173, jan./mar. 1999.

LANA, A. M. Q; CARDOSO, A. A; CRUZ, C. D. Herdabilidades e correlações entre caracteres de linhagens de feijão obtidas em monocultivo e em consórcio com milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 6, p. 1031-1037, nov./dez. 2003.

MAHAN, L. K.; ESCOTT-STUMP, S. **Alimentos, nutrição e dietoterapia**. 9. ed. São Paulo: Roca, 1998. 1179 p.

MAZIERO, S. M. et al. Acurácia e precisão experimental das escalas de acamamento e de nota geral de adaptação na seleção de linhas endogâmicas de feijão. In: 25ª JORNADA

ACADÊMICA INTEGRADA, 25., 2010, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2010. 1 CD-ROM.

MENDES, F. F.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Índice de seleção para escolha de populações segregantes de feijoeiro-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n. 10, p.1312-1318, out. 2009.

MENEZES JÚNIOR, J. A. N.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Seleção recorrente para três caracteres do feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, v.67, n. 04, p.833-838, out./dez. 2008.

MESQUITA, F. R. et al. Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): composição química e digestibilidade protéica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 04, p. 1114-1121, jul./ago. 2007.

MORAGHAN, J. T.; GRAFTON, K. Genetic diversity and mineral composition of common bean seed. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 81, n. 04, p. 404-408, Mar. 2001.

MOURA, M. M. et al. Potencial de caracteres na avaliação da arquitetura de plantas de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 04, p. 417-425, abr. 2013.

MULAMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potential of the Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. **Egypt Journal of Genetic and Cytology**, Alexandria, v. 7, n. 1, p. 40-51, 1978.

OLIVEIRA, T. C. Fósforo: função, metabolismo e recomendações. **Revista Digital de Nutrição**, Ipatinga, v. 01, n. 01, p. 01-24, ago./dez. 2007.

PEREIRA, H. S. et al. Influência do ambiente em cultivares de feijoeiro-comum em cerrado com baixa altitude. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 02, p.165-172, jul. 2012.

PESEK, J.; BAKER, R. J. Desired improvement in relation to selected indices. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 49, n. 6, p. 803-804, 1969.

PFEIFFER, W. H.; MCCLAFFERTY, B. HarvestPlus: Breeding crops for better nutrition. **Crop Science**, Madison, v. 47, n. 03, p. S88-S105, Dec. 2007.

POERSCH, N. L. et al. Genetic control of potassium content of common bean seeds. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 06, p. 626-632, June 2011.

POERSCH, N. L. et al. Genetics of the concentration of copper in common bean seeds. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 35, n. 03, p. 301-306, July/Sept. 2013.

RIBEIRO, N. D. et al. Genetics of phosphorus content in common bean seeds. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 11, n. 03; p. 250-256, Sept. 2011.

RIBEIRO, N. D. et al. Combined selection for grain yield, cooking quality and minerals in the common bean. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 04, p. 869-877, Oct./Dec. 2013.

RIBEIRO, N. D.; JOST, E.; CARGNELUTTI FILHO, A. Efeitos da interação genótipo x ambiente no ciclo e na coloração do tegumento dos grãos do feijoeiro comum. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 03, p. 373-380, dez. 2004.

ROSA, S. S. et al. Potential for increasing the zinc content in common bean using genetic improvement. **Euphytica**, The Netherlands, v. 175, n. 02, p. 207-213, Sept. 2010.

SANTOS, C. A. F.; ARAÚJO, F. P. de. Aplicação de índices para seleção de caracteres agronômicos de feijão-de-corda. **Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 32, n. 1/2, p. 78-84, 2001.

SILVA, C. A.; ABREU, A. de F. B.; RAMALHO, M. A. P. Associação entre arquitetura de planta e produtividade de grãos em progênies de feijoeiro de porte ereto e prostrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.12, p.1647-1652, dez. 2009.

SILVA, C. A. et al. Chemical composition as related to seed color of common bean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 12, n. 02, p. 132-137, June 2012.

SILVA, M. R.; SILVA, M. A. A. P. Aspectos nutricionais de fitatos e taninos. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 12, n. 01, p. 21-32, jan./abr. 1999.

SMITH, H. F. A discriminant function for plant selection. **Annual Eugenics**, [S.l.], v. 7, p. 240-250, 1936.

SUBANDI, W.; COMPTON, A.; EMPIG, L. T. Comparison of the efficiencies of selection indices for three traits in two variety crosses of corn. **Crop Science**, Madison, v. 13, n.2, p. 184-186, 1973.

SZCKUREK, E. I.; BJORNSSON, C. S.; TAYLOR, C. G. Dietary zinc deficiency and repletion modulate metallothionein immunolocalization and concentration in small intestine and liver of rats. **The Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 131, n. 08, p. 2132-2138, Aug. 2001.

TORGA, P. P. et al. Seleção de famílias de feijoeiro baseada na produtividade, no tipo de grãos e informações de QTLs . **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 01, p. 95-100, jan./fev. 2010.

VASCONCELOS, E. S. et al. Estimativas de ganho genético por diferentes critérios de seleção em genótipos de alfafa. **Revista Ceres**, v. 57, n. 02, p. 205-210, mar./abr. 2010.

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**, California, v. 48, n. 08, p. 3576-3580, July, 2000.

WILLIAMS, J. S. The evaluation of a selection index. **Biometrics**, Arlington, v. 18, p. 375-393, 1962.