

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

**SELEÇÃO DE FAMÍLIAS DE FEIJÃO BASEADA EM
CARACTERES AGRONÔMICOS E DA QUALIDADE
NUTRICIONAL**

TESE DE DOUTORADO

Evandro Jost

Santa Maria, RS, Brasil

2011

**SELEÇÃO DE FAMÍLIAS DE FEIJÃO BASEADA EM
CARACTERES AGRONÔMICOS E DA QUALIDADE
NUTRICIONAL**

Evandro Jost

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 a obtenção do grau de **Doutor em Agronomia.**

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Nerinéia Dalfollo Ribeiro

Santa Maria, RS, Brasil

2011

J84s Jost, Evandro

Seleção de famílias de feijão baseada em caracteres agronômicos e da qualidade nutricional / por Evandro Jost. – 2011.

63 f. : il. ; 31 cm.

Orientador: Nerinéia Dalfollo Ribeiro.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, RS, 2011.

1. Cultivo de feijão 2. *Phaseolus vulgaris* L. 3. Métodos de seleção 4. Ganho de seleção 5. Produtividade de grãos 6. Ciclo 7. Caracteres agronômicos 8. caracteres nutricionais 9. Acamamento 10. Cálcio 11. Ferro I. Ribeiro, Nerinéia Dalfollo II. Título.

CDU 635.652

Ficha catalográfica elaborada por Simone G. Maisonave – CRB 10/1733
Biblioteca Central da UFSM

© 2011

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

Endereço: Rua Vinte de Setembro, nº 792, Bairro Centro, São Vicente do Sul, RS, 97420-000

Fone (0xx)55 91671289; E-mail: evandrojost@yahoo.com.br

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

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

**SELEÇÃO DE FAMÍLIAS DE FEIJÃO BASEADA EM CARACTERES
AGRONÔMICOS E DA QUALIDADE NUTRICIONAL**

elaborada por
Evandro Jost

como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Agronomia

COMISSÃO EXAMINADORA:



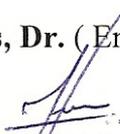
Nerinéia Dalfollo Ribeiro, Dra.
(Presidente/Orientadora)



Solange Bósio Tedesco, Dra. (UFSM)



Irajá Ferreira Antunes, Dr. (Embrapa Clima Temperado)



Alfredo do Nascimento Junior, Dr. (Embrapa Trigo)



Alberto Cargnelutti Filho, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 19 de agosto de 2011.

Dedico este trabalho a minha esposa, Itagiane, e aos meus
queridos pais, Oscar e Marlene.

AGRADECIMENTOS

Neste momento gostaria de agradecer a todos aqueles que colaboraram para a realização deste trabalho.

À Deus, por me conceder a força durante a realização deste trabalho.

À Universidade Federal de Santa Maria, ao Centro de Ciências Rurais, ao Departamento de Fitotecnia e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia, pela oportunidade de realização do Doutorado.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

À minha família, que sempre me apoiou e acreditou no meu esforço.

À minha orientadora, Profa. Dra. Nerinéia Dalfollo Ribeiro, pela orientação e apoio durante a realização deste trabalho.

Aos colegas de setor Daniele Piano Rosa, Lucas da Silva Domingues, Micheli Thaise Della Flora Possobom, Nerison Luís Poerch, Sandra Maria Maziero, Taiguer Cerutti e Tamara Pastori pelo companheirismo e auxílio na condução deste trabalho.

Aos amigos e colegas, pela amizade, parceria, tempo e esforços destinados à conclusão dos inúmeros desafios para a realização deste trabalho.

A todos que de alguma forma participaram da construção deste trabalho ou deste período de minha vida, **MUITO OBRIGADO**.

RESUMO

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

SELEÇÃO DE FAMÍLIAS DE FEIJÃO BASEADA EM CARACTERES AGRONÔMICOS E DA QUALIDADE NUTRICIONAL

AUTOR: EVANDRO JOST

ORIENTADORA: NERINÉIA DALFOLLO RIBEIRO

Local e data da defesa: Santa Maria, 19 de agosto de 2011.

O feijão é um alimento básico na dieta dos brasileiros, com importância significativa em diversas regiões do país por razões econômicas e/ou nutricionais. Variabilidade genética com relação à produtividade de grãos, aos caracteres morfológicos, fenológicos e nutricionais possibilita a utilização do melhoramento genético e ganhos podem ser obtidos quando forem utilizadas metodologias adequadas na condução das populações segregantes e na seleção de linhagens. Desta forma, os objetivos deste trabalho foram avaliar a eficiência dos métodos Genealógico e Descendente de uma Única Semente (SSD) na condução das populações segregantes e avaliar a seleção direta, seleção indireta, índice clássico (SMITH, 1936; HAZEL, 1943), índice base (WILLIAMS, 1962), índice livre de peso e parâmetros (ELSTON, 1963), índice baseado nos ganhos desejados (PESEK; BAKER, 1969), índice multiplicativo (SUBANDI et al., 1973) e índice baseado em soma de “ranks” (MULAMBA; MOCK, 1978) na identificação de famílias de feijão com maior produtividade de grãos, com caracteres morfológicos e fenológicos desejáveis e maior teor de cálcio e de ferro nas sementes. Para tanto, um total de 272 famílias em geração F₇ - 136 famílias conduzidas pelo método Genealógico com seleção nas gerações segregantes para a produtividade de grãos e 136 famílias conduzidas pelo método SSD, além de 17 cultivares registradas para cultivo no Estado do Rio Grande do Sul, foram avaliadas em delineamento látice simples 17 x 17. Pelo método Genealógico se obteve maior número de famílias com alta produtividade de grãos, de ciclo precoce e com menor nota geral de adaptação (melhor adaptação). O método SSD foi eficiente para a seleção de maior número de famílias com as menores notas de acamamento (porte ereto), as maiores alturas de inserção de primeira vagem e os maiores teores de cálcio e de ferro nas sementes. Correlações desfavoráveis ao interesse do melhoramento foram observadas entre os caracteres produtividade de grãos, altura de inserção da primeira vagem e teores de cálcio e de ferro nas sementes. O índice clássico (SMITH, 1936; HAZEL, 1943), o índice base (WILLIAMS, 1962) e o índice multiplicativo (SUBANDI et al., 1973) podem propiciar progresso genético superior na seleção de linhagens de feijão apresentando elevada coincidência entre as linhagens selecionadas.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L.. Métodos de seleção. Ganho de seleção. Produtividade de grãos. Ciclo. Acamamento. Cálcio. Ferro.

ABSTRACT
PhD Thesis
Agronomy Post-graduation Program
Universidade Federal de Santa Maria

**SELECTION OF THE COMMON BEAN FAMILIES BASED ON
AGRONOMIC TRAITS AND ON NUTRITIONAL QUALITY**

AUTHOR: EVANDRO JOST

ADVISER: NERINÉIA DALFOLLO RIBEIRO

Place and date of the defense: Santa Maria, August 19th, 2011.

The common bean is a basic food of Brazilian diet, with great importance in many regions of the country because of economic and/or nutritional reasons. Genetic variability related to the grain yield, morphologic, phenologic and nutritional traits, and others, makes possible the use of genetic improvement and gain genetic can be maximized when adequate methodologies are used to obtain segregant populations and selection of lines. So, the purposes of this study were to evaluate the efficiency of the Genealogic and Single Seed Descent (SSD) methods in the obtained of segregating populations and evaluate direct selection, indirect selection, classical index (SMITH, 1936; HAZEL, 1943), base index (WILLIANS, 1962), parameter and weight free index (ELSTON, 1963), desired gains index (PESEK; BAKER, 1969), multiplicative index (SUBANDI et al., 1973) and rank summation index (MULAMBA; MOCK, 1978) in the identification of common bean families with higher grain yield, morphologic and phenologic desirable traits and higher calcium and iron contents in the seeds. For that, an amount of 272 families from F₇ generation – 136 families obtained by the Genealogic method with selection in segregant generations for grain yield, 136 families obtained by the SSD method, and 17 registered cultivars to be grown in Rio Grande do Sul state were evaluated in simple lattice model 17 x 17. Through the Genealogic method we obtained a higher number of families with high grain yield, early cycle and a lower general adaptation note (better adaptation). The SSD method was efficient by selection the higher grain yield, higher number of families with the lowest lodging grade (erect type), higher insertion height of first pod and higher calcium and iron contents in seeds. Correlations unfavorable to the interests of improvement were observed between the characters grain yield and height insertion of first pod and calcium and iron content in seeds. The classical index (SMITH, 1936; HAZEL, 1943), the base index (WILLIANS, 1962) and the multiplicative index (SUBANDI et al., 1973) can provide higher genetic progress common bean lines showing high similarity between the selected lines.

Key-words: *Phaseolus vulgaris* L.. Selection methods. Selection gain. Grain yield. Cycle. Lodging. Calcium contents. Iron contents.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise da variância em modelo hierárquico, considerando delineamento blocos ao acaso, para produtividade de grãos (produtividade, kg ha ⁻¹), acamamento (ACA), nota geral de adaptação (NG), ciclo (dias), altura de inserção de primeira vagem (AIIV, cm), teor de cálcio (cálcio, g kg ⁻¹) e teor de ferro (ferro, mg kg ⁻¹) do experimento de avaliação de famílias de feijão avançadas pelos métodos Genealógico e Descendente de uma Única Semente. Santa Maria – RS, UFSM, 2011.....	25
Tabela 2 – Estimativas do quadrado médio de famílias (QM _F), da média, do valor mínimo e máximo, da variância fenotípica (σ^2_F), da variância do ambiente (σ^2_E), da variância genética (σ^2_G), da herdabilidade no sentido restrito (h^2_r), do coeficiente de variação ambiental (CVe %), do coeficiente de variação genético (CVg %) e da razão CVg/ CVe obtidos para a produtividade de grãos (produtividade, kg ha ⁻¹), acamamento (ACA), nota geral de adaptação (NG), ciclo (dias), altura de inserção de primeira vagem (AIIV, cm), teor de cálcio (cálcio, g kg ⁻¹) e teor de ferro (ferro, mg kg ⁻¹) no experimento de avaliação de famílias de feijão avançadas pelos métodos Genealógico (Gen.) e Descendente de uma Única Semente (SSD). Santa Maria – RS, UFSM, 2011.....	26
Tabela 3 – Produtividade de grãos (produtividade, kg ha ⁻¹), acamamento (ACA), nota geral de adaptação (NG), ciclo (dias), altura de inserção de primeira vagem (AIIV, cm), teor de cálcio (cálcio, g kg ⁻¹) e teor de ferro (ferro, mg kg ⁻¹) das 5, 10 e 20 famílias superiores, em valores absolutos, obtidas nos métodos Genealógico (Gen.) e Descendente de uma Única Semente (SSD). Santa Maria – RS, UFSM, 2011.....	32
Tabela 4 – Média de cada testemunha (test.), número de famílias superiores a cada testemunha obtida pelo método Genealógico (Gen.) e Descendente de uma Única Semente (SSD), em valor absoluto, e média geral das testemunhas para produtividade de grãos (produtividade, kg ha ⁻¹), acamamento (ACA), nota geral de adaptação (NG), ciclo (dias), altura de inserção de primeira vagem (AIIV, cm), teor de cálcio (cálcio, g kg ⁻¹) e teor de ferro (ferro, mg kg ⁻¹) em sementes de feijão. Santa Maria – RS, UFSM, 2011.....	34
Tabela 5 – Resumo da análise de variância para os caracteres produtividade de grãos (produtividade, kg ha ⁻¹), acamamento (ACA), nota geral de adaptação (NG), ciclo (dias), altura de inserção da primeira vagem (AIIV, cm), teor de cálcio (cálcio, g kg ⁻¹) e teor de ferro (ferro, mg kg ⁻¹) nas sementes avaliados em 289 linhagens de feijão. Santa Maria (RS), UFSM, 2011.....	45
Tabela 6 – Matriz de coeficientes de correlação fenotípica entre os caracteres produtividade de grãos (produtividade, kg ha ⁻¹), acamamento (ACA), nota geral de adaptação (NG), ciclo (dias), altura de inserção da primeira vagem (AIIV, cm), teor de cálcio (cálcio, g kg ⁻¹) e teor de ferro (ferro, mg kg ⁻¹) nas sementes avaliados em 289 linhagens de feijão. Santa Maria (RS), UFSM, 2011.....	47

Tabela 7 – Estimativas de ganhos diretos e de ganhos indiretos para os caracteres produtividade de grãos (produtividade, kg ha ⁻¹), acamamento (ACA), nota geral de adaptação (NG), ciclo (dias), altura de inserção da primeira vagem (AIIV, cm), teor de cálcio (cálcio, g kg ⁻¹) e teor de ferro (ferro, mg kg ⁻¹) nas sementes obtidas pela seleção de 29 linhagens (10% de todas as linhagens) de feijão das 289 avaliadas. Santa Maria (RS), UFSM, 2011.....	48
Tabela 8 - Estimativas de ganhos genéticos obtidos com a seleção combinada para os caracteres produtividade de grãos (produtividade, kg ha ⁻¹), acamamento (ACA), nota geral de adaptação (NG), ciclo (dias), altura de inserção da primeira vagem (AIIV, cm), teor de cálcio (cálcio, g kg ⁻¹) e teor de ferro (ferro, mg kg ⁻¹) nas sementes obtidas pela seleção de 29 linhagens (10% de todas as linhagens) de feijão das 289 avaliadas. Santa Maria (RS), UFSM, 2011.....	49
Tabela 9 - Percentagem de coincidência de linhagens selecionadas pelos índices clássico de Smith (1936); Hazel (1943) (SH), índice baseado nos ganhos desejados (PESEK; BAKER, 1969) (PB), índice base (WILLIAMS, 1962) (Wi), índice baseado em soma de “ranks” (MULAMBA; MOCK, 1978) (MM), índice multiplicativo (SUBANDI et al.,1973) (Su). Santa Maria (RS), UFSM, 2011.....	52

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Distribuição de frequência da produtividade de grãos (produtividade, kg ha⁻¹), do acamamento (ACA), da nota geral de adaptação (NG), do ciclo (dias), da altura de inserção de primeira vagem (AI1V, cm), teor de cálcio (cálcio, g kg⁻¹) e teor de ferro (ferro, mg kg⁻¹) observados em famílias de feijão avançadas pelos métodos Genealógico (Gen.) e Descendente de uma Única Semente (SSD). Santa Maria – RS, UFSM, 2011..... 28

LISTA DE APÊNDICE

Apêndice 1 – Tipo de grão, Programa de Melhoramento obtentor/mantenedor da cultivar (origem), genealogia e hábito de crescimento (HC) das cultivares de feijão utilizadas como genitores para os estudos da genética dos teores de cálcio e de ferro em sementes de feijão. Santa Maria – RS, UFSM, 2011.....	63
--	----

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	13
CAPÍTULO 1 - Métodos de condução de populações segregantes na obtenção de linhagens de feijão superiores para caracteres agronômicos e nutricionais.....	17
Resumo.....	17
Abstract.....	18
Introdução.....	18
Material e Métodos.....	21
Resultados e Discussão.....	24
Conclusões.....	35
CAPÍTULO 2 - Comparação de eficiência de seleção direta e índices de seleção na identificação de famílias superiores de feijão.....	36
Resumo.....	36
Abstract.....	37
Introdução.....	37
Material e Métodos.....	40
Resultados e Discussão.....	44
Conclusões.....	53
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
APÊNDICE.....	63

INTRODUÇÃO

O cultivo de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) encontra-se amplamente distribuído em todos os Estados brasileiros, nos mais variados graus de tecnificação, de cultura de subsistência até alta tecnologia, com irrigação sob pivô central, cultivares com alta produtividade e resistentes a patógenos, adubações equilibradas e controle satisfatório de pragas, doenças e plantas daninhas (TORRES et al., 2009).

Os programas de melhoramento genético de feijão estão continuamente lançando novas cultivares. O principal objetivo em décadas anteriores foi a obtenção de genótipos com maior potencial produtivo e com caracteres agrônômicos desejáveis, colaborando para a ampliação das áreas de cultivo, facilitando o manejo e aumentando os ganhos de produtividade de forma direta e indireta.

Nos últimos anos, além dos caracteres agrônômicos, muitos programas de melhoramento começaram a dar ênfase à qualidade nutricional desta espécie (MOOSE; MUMM, 2008). Teores significativos de proteína, fibras, carboidratos, vitaminas e minerais em sementes de feijão são componentes nutricionais destacados na literatura (LAJOLO et al., 1996; ESTEVES, 2000; MESQUITA et al., 2007).

Problemas de deficiência nutricional na alimentação humana são frequentes e as carências de cálcio e de ferro são comuns, devido a baixa biodisponibilidade desses minerais. Além disso, sua absorção pelo organismo depende da composição química dos alimentos e, na maioria dos casos, a deficiência é o resultado da baixa biodisponibilidade e da ingestão insuficiente (MILLER, 2000).

Desta forma, o feijão pode se tornar um grande aliado na prevenção das deficiências de minerais, pois estudos têm revelado o valor nutritivo do feijão em relação ao cálcio (STEVENS, 1974; SEBASTIÁ et al., 2001) e ao ferro (BARAMPAMA; SIMARD, 1993; BEEBE et al., 2000; GUZMÁN-MALDONADO et al., 2003; ARAÚJO et al., 2003; MESQUITA et al., 2007; AKOND et al., 2011).

Além disso, variabilidade genética quanto ao teor de cálcio e de ferro nas sementes de feijão tem sido relatada (QUINTANA et al., 1996; BEEBE et al., 2000; ESTEVES, 2000; BRIGIDE, 2002; MIGLIORANZA et al., 2003; MESQUITA et al., 2007; AKOND et al., 2011), o que é fundamental para melhorar algum caráter através do melhoramento de plantas.

Estudos de herdabilidade também são importantes para conhecer a facilidade com que um caráter pode ser melhorado. Quanto maior a estimativa de herdabilidade, maior será a facilidade em selecionar genótipos superiores. Assim, herdabilidade em sentido amplo do teor de cálcio foi determinada em vagens e em grãos imaturos de feijão e valores entre 48 a 50% foram obtidos (QUINTANA et al., 1999). Estimativas de herdabilidade em sentido restrito de moderada (47,00%) a alta (63,61%) foram obtidas para o teor de cálcio em sementes maduras de feijão em diferentes populações híbridas (JOST et al., 2009a). Para o teor de ferro, estimativas de herdabilidade em sentido amplo de alta magnitude (h^2_a : 76,36%) e em sentido restrito, de média magnitude (h^2_r : 50,60%) foi verificada (JOST et al., 2009b).

Desta forma, conduzir programas de melhoramento genético, selecionando linhagens de feijão com caracteres agrônômicos desejáveis, somado ao maior teor de cálcio e de ferro nas sementes pode ser uma alternativa viável para melhorar a qualidade nutricional das dietas humanas. As informações disponíveis, especialmente quanto a existência de variabilidade genética e valores significativos de herdabilidade, indicam a possibilidade de se ter sucesso na seleção de plantas.

Contudo, as diferenças a serem detectadas na seleção para alguns caracteres são pequenas ou de difícil detecção por influência da interação com o ambiente exigindo assim, maior eficiência dos programas de melhoramento. Entre os fatores que afetam essa eficiência está a escolha do método adequado de condução das populações segregantes.

Dentre os métodos de condução de populações segregantes em plantas autógamias destacam-se o método Genealógico e o Descendente de uma Única Semente (SSD). O Método Genealógico, também descrito como Método “*Pedigree*”, tem como princípio a seleção individual de plantas na população segregante, bem como a avaliação de cada progênie separadamente, além do registro da genealogia de cada linha, permitindo estabelecer o grau de parentesco entre as linhas selecionadas. Segundo Borém; Vieira (2009), as vantagens apresentadas pelo método Genealógico são: permitir o controle do grau de parentesco entre as gerações, o descarte de plantas inferiores em gerações precoces, a utilização de dados obtidos para estudos genéticos e possibilitar o treinamento de melhoristas. Entretanto, esses autores destacaram as seguintes desvantagens: possibilidade de condução de uma única geração por ano, exigir elevada demanda de mão-de-obra e campo experimental e necessitar de pessoal qualificado para selecionar tipos desejáveis.

O método Descendente de uma Única Semente ou SSD (“*Single Seed Descent*”), conforme descrito por Brim (1966) consiste em avançar as gerações segregantes até um nível satisfatório de homozigose, tomando uma única semente de cada planta de uma geração para

estabelecer a geração subsequente. O método SSD tem como principal característica a separação da fase de aumento da homozigose da fase de seleção, possibilitando uma redução no tempo requerido para a obtenção de linhagens. O método apresenta como vantagens: fornecer máxima variância genética entre linhagens na população final, atingir rapidamente o nível desejado de homozigose, ser de fácil condução, não exigir registro das genealogias, possibilidade de condução fora da região de adaptação e necessitar de pouca demanda de área e mão-de-obra. As desvantagens apresentadas pelo método são: pequena oportunidade de seleção nas gerações precoces e não se beneficiar da seleção natural quando esta é favorável.

As comparações entre os métodos de condução de populações segregantes em feijão quando da associação entre produtividade de grãos, caracteres morfológicos, fenológicos e qualidade nutricional são desconhecidas. Partindo do princípio de que o método de seleção é dependente de fatores ambientais e da disponibilidade de infra-estrutura e de mão-de-obra, é importante que seja avaliada a eficiência relativa dos métodos nas condições prevalentes.

Após as plantas atingirem o nível de homozigose desejado é necessário realizar a avaliação destas no intuito de selecionar as melhores linhagens. Para ser aceita como uma nova cultivar, a linhagem deve reunir uma série de atributos favoráveis para atender às expectativas do consumidor e do produtor. Na seleção direta e indireta, o produto final pode se mostrar inadequado, por apresentar superioridade apenas em relação aos caracteres selecionados, mas com desempenho não tão favorável em relação aos vários outros caracteres não considerados durante a prática seletiva.

Pesquisadores têm realizado estudos comparativos entre os critérios de seleção, com base no índice de seleção, no método dos níveis independentes de eliminação e no método "tandem" (CRUZ; REGAZZI, 1997). Segundo estes autores, a seleção com base no índice de seleção é mais eficiente do que a seleção pelo método dos níveis independentes de eliminação, que por sua vez é mais eficaz do que o método de seleção em "tandem". Dessa forma, a utilização da teoria de índice de seleção parece ser uma alternativa eficiente, pois permite combinar as múltiplas informações contidas na unidade experimental, de modo que seja possível a seleção com base em um complexo de variáveis que reúna vários atributos de interesse econômico (CRUZ et al., 2004).

Alguns índices de seleção são apresentados por Cruz; Regazzi (1997), tais como índice clássico (SMITH, 1936; HAZEL, 1943), índice base (WILLIAMS, 1962), índice livre de peso e parâmetros (ELSTON, 1963), índice baseado nos ganhos desejados (PESEK; BAKER, 1969), índice multiplicativo (SUBANDI et al., 1973) e índice baseado em soma de "ranks" (MULAMBA; MOCK, 1978). Portanto, várias metodologias de seleção combinada

estão disponíveis, cabendo ao melhorista avaliar cada uma delas e, com base em suas características e ou resultados prévios, utilizar aqueles que satisfaçam suas necessidades. Com relação à utilização desses índices de seleção em feijão, poucos trabalhos estão disponíveis, e quando se trata da utilização de índices para agregar qualidade nutricional, nenhum trabalho foi encontrado.

Sendo assim, os objetivos deste trabalho foram avaliar a eficiência dos métodos Genealógico e Descendente de uma Única Semente (SSD) na condução de populações segregantes e avaliar a utilização dos índices de seleção na identificação de famílias de feijão com maior produtividade de grãos, com caracteres morfológicos e fenológicos desejáveis e com maiores teores de cálcio e de ferro nas sementes.

CAPITULO 1

MÉTODOS DE CONDUÇÃO DE POPULAÇÕES SEGREGANTES NA OBTENÇÃO DE LINHAGENS DE FEIJÃO SUPERIORES PARA CARACTERES AGRONÔMICOS E NUTRICIONAIS

METHODS OF ADVANCE SEGREGATING POPULATIONS TO OBTAIN COMMON BEAN LINES HIGHER BY AGRONOMIC AND NUTRITIONAL TRAITS

RESUMO

A seleção para a produtividade de grãos combinada com caracteres morfológicos, fenológicos, e nutricionais de interesse representa avanços tecnológicos para o feijão. Os objetivos desse trabalho foram avaliar parâmetros genéticos e a eficiência dos métodos de condução de populações segregantes Genealógico (Gen.) e Descendente de uma Única Semente (SSD) na obtenção de linhagens superiores de feijão para a produtividade de grãos, arquitetura de plantas, precocidade, altura de inserção de primeira vagem e teores de cálcio e de ferro nas sementes. Para tanto, foram avaliadas 136 linhagens pelo método Genealógico e 136 linhagens pelo método SSD, totalizando 272 linhagens em geração F₇. O experimento foi conduzido em delineamento látice simples 17 x 17, integrando as 272 linhagens e 17 cultivares testemunhas. Estimativas de herdabilidade em sentido restrito elevadas foram observadas para a produtividade de grãos ($h^2r = 70,18$ (Gen.); $72,79$ (SSD)) e para o teor de cálcio ($h^2r = 64,78$ (Gen.); $66,85$ (SSD)), de magnitude moderada para acamamento ($h^2r = 48,88$ (Gen.); $59,72$ (SSD)), altura de inserção de primeira vagem ($h^2r = 45,25$ (Gen.); $60,38$ (SSD)) e teor de ferro ($h^2r = 45,06$ (Gen.); $40,60$ (SSD)), e de baixa magnitude para ciclo ($h^2r = 17,69$ (Gen.); $30,12$ (SSD)) e nota geral de adaptação ($h^2r = 26,48$ (Gen.); $20,23$ (SSD)). O método Genealógico permite a obtenção de maior número de famílias com alta produtividade de grãos, de menor nota geral de adaptação (melhor adaptação) e de ciclo precoce. A condução pelo método Descendente de uma Única Semente possibilita a identificação de maior número de famílias com menores notas de acamamento, com maior altura de inserção de primeira vagem e com maiores teores de cálcio e de ferro nas sementes.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L.. Variância genética. Herdabilidade. Parâmetros fenotípicos. Minerais.

ABSTRACT

The selection for seed yield agreement with morphologic, phonologic and nutritional traits represent advantages in marketing to common bean. The objectives of this research were to evaluate genetic parameters and efficiency of methods of conducting segregating populations Pedigree and Single-Seed Descent (SSD) in getting families to higher grain yield, erect plant, early maturing, first-pod insertion height and contents of calcium and iron in the seeds. For this, 136 families of the Pedigree and 136 families of the SSD methods were evaluated, totality 272 families in an F₇ generation. The experiment was conducted in a 17 x 17 simple lattice model (272 families and 17 control cultivars). Estimates of heritability in the narrow sense high were observed for grain yield ($h^2_r = 70,18$ (Pedigree); 72,79 (SSD)) and calcium content ($h^2_r = 64,78$ (Pedigree); 66,85 (SSD)), moderate to lodging ($h^2_r = 48,88$ (Pedigree); 59,72 (SSD)), first-pod insertion height ($h^2_r = 45,25$ (Pedigree); 60,38 (SSD)) and iron content ($h^2_r = 45,06$ (Pedigree); 40,60 (SSD)), and low magnitude for the cycle ($h^2_r = 17,69$ (Pedigree); 30,12 (SSD)) and general adaptation note ($h^2_r = 26,48$ (Pedigree); 20,23 (SSD)). The Pedigree method was effective in producing a higher number of families with high seed yields, early maturing and small general adaptation note (better adaptation). Through the SSD method was effective for the production of families with small lodging, higher first-pod insertion and higher levels of calcium and iron in the seeds.

Key words: *Phaseolus vulgaris* L.. Genetic variance. Heritability. Phenotypic parameters. Minerals.

INTRODUÇÃO

O aumento da produtividade de grãos ainda é um grande desafio para o melhoramento genético do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Além da produtividade de grãos, os caracteres morfológicos, como acamamento, nota geral de adaptação e altura de inserção de primeira vagem, os caracteres fenológicos, como o ciclo, e os caracteres nutricionais, como os teores

de cálcio e de ferro nas sementes, são importantes para a seleção de linhagens de feijão. Plantas com menor acamamento, de porte ereto, com maior altura de inserção de primeira vagem, facilitam a colheita, tanto mecanizada quanto manual, e os demais tratos culturais (MENDES et al., 2009). A nota geral de adaptação é atribuída na maturação, com base em uma escala de notas e tem sido utilizada na seleção indireta para descartar linhagens nitidamente inferiores, pois apresenta correlação linear negativa com a produtividade de grãos (RIBEIRO et al., 2010). A identificação de cultivares de ciclo precoce pode ser vantajosa para os agricultores, pois permite a antecipação da colheita e o melhor aproveitamento da área cultivada para sucessão ou rotação de culturas.

Deficiências minerais na população humana têm sido registradas na infância e na idade adulta e atingem mais de três bilhões de pessoas no mundo (FAO, 2011). O feijão comum foi a terceira melhor opção como fonte de cálcio, em um estudo realizado com 39 espécies de origem vegetal (STEVENS, 1974). Quando comparado a outras leguminosas, o feijão tem 50% a mais de cálcio que o grão-de-bico e 100% a mais que a lentilha (SEBASTIÁ et al., 2001). Além disso, o teor de cálcio nas sementes de feijão apresenta variabilidade genética (BARAMPAMA; SIMARD, 1993; GUZMÁN-MALDONADO et al., 2003; MESQUITA et al., 2007).

Os alimentos de origem animal são fontes biodisponíveis de ferro e de outros minerais (COSTA; LIBERATO, 2003); todavia, devido ao elevado custo, tornam-se inacessíveis a muitas pessoas. Nesse sentido, o feijão, que apresenta alto teor de ferro nas sementes, tem sido utilizado na alimentação para a suplementação de ferro. Constata-se também que o teor de ferro nas sementes de feijão apresenta variação genética (MESQUITA et al., 2007; TALUKDER et al., 2010; AKOND et al., 2011).

A existência de variabilidade genética possibilita o melhoramento genético para o aumento do teor de minerais em sementes de feijão. Beebe et al. (2000), com base na avaliação da composição química de sementes de 1150 acessos de feijão do Banco de Germoplasma do Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Colômbia, constataram que o teor de ferro nas sementes de feijão poderia ser aumentado em 80%. O uso de cruzamentos dirigidos e a seleção dos recombinantes obtidos em gerações precoces possibilitou um incremento de 33,64% no teor de cálcio (JOST et al., 2009a) e de 94% no teor de ferro (JOST et al., 2009b) em sementes de feijão. A herdabilidade do teor de ferro em sementes de feijão tem sido relatada como quantitativa em gerações precoces (GUZMÁN-MALDONADO et al., 2003) e em gerações avançadas (BLAIR et al., 2009).

O desenvolvimento de cultivares de feijão com maior produtividade de grãos, com caracteres morfológicos e fenológicos desejáveis, associados a maior qualidade nutricional é importante. Para tanto, será preciso estabelecer estratégias de condução das populações segregantes para que sejam alcançados tais objetivos.

Os principais métodos de condução utilizados no melhoramento genético do feijão são o Populacional (Bulk), Genealógico (Pedigree) e o Descendente de uma Única Semente (SSD). O método Populacional foi eficiente para a identificação de famílias com maior produtividade de grãos, entretanto as plantas de hábito de crescimento determinado foram eliminadas após 13 gerações de seleção natural e a massa de 100 sementes foi reduzida significativamente (GONÇALVES et al., 2001). A seleção natural tem sido efetiva na identificação de plantas de feijão mais adaptadas ao ambiente, mas não necessariamente com tipo de planta e qualidade de sementes que atendam às necessidades do mercado de feijão.

A condução das populações segregantes de feijão pelo método Genealógico foi efetiva para a seleção de famílias com destacada produtividade de grãos (MORETO et al., 2007; TORGA et al., 2010). No entanto, contribuiu para a obtenção de plantas menos eretas (MORETO et al., 2007) e não apresentou associação com o tipo de semente de maior aceitação para o consumo (TORGA et al., 2010). Pelo método SSD, foi possível obter famílias mais precoces, porém a produtividade de grãos foi inferior quando comparada às famílias obtidas pelos métodos Genealógico e Populacional (URREA; SINGH, 1994). A condução de populações segregantes pelo método SSD, permite máxima variância genética entre as linhagens e é de fácil condução. Todavia, são realizadas poucas avaliações no campo, o que pode contribuir para a obtenção de maior número de famílias com produtividade de grãos inferior.

Costa et al. (2002) observaram que os métodos de condução de populações segregantes foram contrastantes na identificação de linhagens de feijão com alta produtividade de grãos e com resistência a quatro patótipos de *Colletotrichum lindemuthianum*. De acordo com Borém; Vieira (2009) não existe um método único para se atingirem objetivos específicos e a definição sobre o método de seleção a ser utilizado dependerá da genética dos caracteres, da facilidade de condução, do tempo, da mão-de-obra e dos custos necessários.

Trabalhos comparando a eficiência de métodos de condução de população segregantes para produtividade de grãos, caracteres morfológicos e fenológicos associados a qualidade nutricional do feijão são desconhecidos. Face ao exposto, foram objetivos desse trabalho avaliar parâmetros genéticos e a eficiência dos métodos de condução de populações

segregantes Genealógico e SSD na obtenção de linhagens superiores de feijão para a produtividade de grãos, arquitetura de plantas, precocidade, altura de inserção de primeira vagem e teores de cálcio e de ferro nas sementes.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas 272 famílias em geração F_7 obtidas a partir de cruzamentos dirigidos entre cultivares contrastantes para o teor de cálcio: Pérola ($1,37 \text{ g kg}^{-1}$ de matéria seca - MS) x TPS Bonito ($0,84 \text{ g kg}^{-1}$ de MS) e TPS Bonito ($0,84 \text{ g kg}^{-1}$ de MS) x BRS Expedito ($1,32 \text{ g kg}^{-1}$ de MS); e pelo cruzamento entre as cultivares contrastantes para o teor de ferro: Minuano ($82,88 \text{ mg kg}^{-1}$ de MS) x Diamante Negro ($62,81 \text{ mg kg}^{-1}$ de MS) e Diamante Negro ($62,81 \text{ mg kg}^{-1}$ de MS) x IAPAR 44 ($66,73 \text{ mg kg}^{-1}$ de MS). Todas as cultivares utilizadas como parentais são do grupo gênico Mesoamericano. As cultivares Pérola e TPS Bonito são do grupo comercial de cor, tipo carioca, com sementes de coloração bege com estrias marrons e apresentam hábito de crescimento indeterminado, com guias longas (tipo III). As cultivares BRS Expedito, Minuano, Diamante Negro e IAPAR 44 pertencem ao grupo comercial preto, todas apresentando hábito de crescimento indeterminado, com guias curtas (tipo II), exceto a cultivar Minuano, que apresenta hábito de crescimento tipo III.

Os cruzamentos dirigidos foram realizados em casa-de-vegetação, adotando-se o método de entrelaçamento, com emasculação prévia do botão floral (PETERNELLI; BORÉM, 2009). No outono-inverno de 2006, obtiveram-se as gerações F_1 e F_1 recíproco; na primavera-verão de 2006, as gerações F_2 e F_2 recíproco; e no outono-inverno de 2007, as gerações F_3 e F_3 recíproco.

As populações segregantes do bloco de cruzamento 1 (cruzamentos entre Pérola x TPS Bonito e TPS Bonito x BRS Expedito) foram conduzidas pelos métodos Genealógico e Descendente de uma Única Semente (SSD). No *Método Genealógico*, o início do ensaio ocorreu na safra agrícola de 2007/2008, sendo a semeadura realizada em parcelas de uma linha de 2 m de comprimento, com aproximadamente 10 plantas. Na colheita, as plantas foram etiquetadas individualmente para a avaliação da produtividade de grãos. Após a obtenção da produtividade de grãos por planta foi calculado a produtividade de grãos por linha. No processo de seleção foram selecionadas as 20 linhas mais produtivas e, dentro dessas linhas, três ou quatro plantas com maior produtividade de grãos individual, totalizando

68 plantas F₃ selecionadas. As sementes de cada planta selecionada foram armazenadas em sacos de papel, identificadas individualmente e armazenadas em câmara fria sob temperatura de 0° C até a semeadura da geração seguinte.

Cada planta F₃ selecionada constituiu uma linha semeada em geração F₄. O processo foi repetido na safra agrícola de 2008/2009, adotando-se a mesma sistemática de semeadura e o mesmo critério de seleção e 68 famílias F₄ foram selecionadas. Na safrinha de 2009, repetiu-se o processo e 68 famílias F₅ foram selecionadas. No inverno de 2009, avançou-se uma geração em casa-de-vegetação, gerando 68 famílias F₆ (linhagens).

O *Método SSD* foi conduzido em casa-de-vegetação, obtendo-se as gerações F₃ e F₄, em 2008, e as gerações F₅ e F₆, em 2009. A cada geração, colheu-se uma semente por planta para ser semeada na geração seguinte. Um total de 100 plantas F₃ foram conduzidas, com o objetivo de obter 68 plantas F₆. Iniciou-se com um maior número de plantas para contornar as possíveis perdas por falta de germinação, morte por doenças ou ataque de insetos que poderiam ocorrer ao longo do avanço das gerações. No verão de 2009, as sementes de cada planta F₆ foram colhidas individualmente na maturação e obteve-se 68 famílias F₆ (linhagens). O cultivo foi realizado em vasos plásticos, com capacidade para 5 L da mistura solo + substrato comercial Plantmax® + casca de arroz carbonizada, na proporção volumétrica de 2: 1: 1. O solo utilizado foi o Alissolo Hipocrômico argilúvico típico, com a seguinte composição química: pH (H₂O): 5,5; matéria orgânica: 2,2%; fósforo: 6,8 mg dm⁻³; potássio: 68 mg dm⁻³; cálcio: 5,5 cmol_c dm⁻³; magnésio: 2,7 cmol_c dm⁻³. A correção da fertilidade do solo foi realizada para os minerais considerados limitantes no solo. Irrigações diárias, controle de doenças e de insetos foram realizados, sempre que necessário, a fim de garantir o desenvolvimento normal das plantas de feijão.

As populações obtidas no bloco de cruzamento 2 (cruzamentos entre Minuano x Diamante Negro e Diamante Negro x IAPAR 44), também, foram avançadas pelos métodos Genealógico e Descendente de uma Única Semente (SSD), de maneira semelhante ao procedimento descrito para as populações obtidas no bloco de cruzamento 1. Nesse caso, também foram selecionadas 68 famílias F₆ pelo Método Genealógico e 68 famílias F₆ pelo método SSD, totalizando 136 famílias (linhagens).

As 272 linhagens F₇ obtidas (136 do bloco de cruzamento 1 e 136 do bloco de cruzamento 2) e 17 cultivares testemunhas foram avaliadas no cultivo de safra agrícola em 2009/2010, utilizando o delineamento de látice simples 17 x 17. As testemunhas foram as seis cultivares parentais (Pérola, TPS Bonito, BRS Expedito, Minuano, Diamante Negro e IAPAR 44) e onze cultivares registradas para o cultivo no Estado do Rio Grande do Sul (TPS Nobre,

BRS Campeiro, FEPAGRO 26, Carioca, Macotaço, Iraí, Macanudo, Guapo Brilhante, Rio Tibagi, BRS Supremo e BRS Valente) (MAPA, 2010). Cada parcela foi constituída de duas linhas de 1 m de comprimento com 15 sementes.

Todos os experimentos de campo foram conduzidos em área experimental do Programa de Melhoramento de Feijão, no Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Santa Maria está situada na região da depressão central do Rio Grande do Sul (RS), a 95 m de altitude, latitude 29°42'S e longitude 53°43'W. O clima da região é do tipo Cfa, temperado chuvoso, com chuvas bem distribuídas ao longo dos anos, e subtropical do ponto de vista térmico. O solo é classificado como Alissolo Hipocrômico argilúvico típico, pertencente à unidade de mapeamento Santa Maria. O solo foi preparado de maneira convencional e a adubação foi realizada com base na interpretação da análise química do solo. O controle de insetos e de plantas invasoras foi executado sempre que necessário a fim de não comprometer o desenvolvimento da cultura. O controle de doenças não foi efetuado.

As plantas foram colhidas na maturação, trilhadas manualmente e as sementes foram secas ao sol e em estufa (65 a 70°C), até umidade média de 13%, quando se determinou a produtividade de grãos em kg ha⁻¹. O acamamento foi quantificado na maturação por meio de observação visual e atribuindo-se notas que variam de 1 a 9, em que a nota 1, corresponde a todas as plantas eretas; 2- poucas plantas caídas ou todas as plantas levemente inclinadas; 3- 25% das plantas caídas ou todas as plantas inclinadas em torno de 25°; 5- 50% das plantas caídas ou todas as plantas inclinadas a 45°; 7- 75% das plantas caídas ou todas inclinadas a 65°; 8- poucas plantas não estão caídas ou quase tocando o solo; e 9- todas as plantas caídas, tocando o solo. O percentual de plantas caídas, o grau de inclinação e o percentual de plantas em contato com o solo foram estimados de forma visual, sem a utilização de réguas ou de equipamentos. A nota geral de adaptação foi determinada na maturação, adotando-se a escala de notas descrita em Ribeiro et al. (2010). O ciclo foi avaliado quando metade mais uma das plantas da parcela útil atingiram o estágio R9 (maturação), de acordo com a escala fenológica proposta pelo CIAT (1987). A altura de inserção da primeira vagem foi medida em 10 plantas da área útil, coletadas ao acaso, sendo considerada a distância entre o nível do solo e a altura de inserção, não considerando o grau de acamamento da planta.

Amostras de sementes de feijão cru de cada linhagem (embrião na geração F₈) foram tomadas ao acaso e moídas em micromoinho a fim de se obter tamanho de partículas inferior a 1 mm. Logo após, as amostras ficaram armazenadas em potes plásticos, devidamente identificados, e conservadas sob refrigeração (0° C) até o momento das análises químicas. Os teores de minerais foram determinados no extrato da digestão nítrica-perclórica (HNO₃ +

HClO₄, na proporção 3:1), de acordo com a metodologia descrita em Miyazawa et al. (1999). As quantificações dos teores de cálcio e de ferro foram obtidas em espectrofotômetro de absorção atômica por visualização de registros, utilizando comprimento de onda de 422,70 nm e de 248,3 nm, respectivamente.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância seguindo modelo hierárquico para testar o efeito das famílias dentro de cada método de condução. A eficiência do delineamento látice simples em relação aos blocos ao acaso foi determinada, como apresentado em Ramalho et al. (2000). Na sequência, os dados foram separados por método de condução e submetidos à análise de variância segundo o delineamento blocos ao acaso, sendo obtidas as estimativas dos componentes de variância e da herdabilidade. Considerando que foram avaliadas famílias com alto nível de endogamia ou linhagens endogâmicas, a variância genética entre famílias é toda aditiva e, por isso, a herdabilidade estimada é equivalente àquela no sentido restrito.

As médias das 5, 10 e 20 famílias superiores para os métodos Genealógico e SSD foram realizadas com base em valores absolutos, sendo inicialmente realizado um ranqueamento, por método, das famílias para cada caráter e na sequência obtida a média das 5, 10 e 20 famílias melhores classificadas para cada caráter. Foi realizado o teste t a 5% de probabilidade para comparar a diferença entre as médias obtidas nos diferentes métodos para cada grupo de seleção. Para a identificação do número de famílias superiores a cada testemunha, foi considerado o número de famílias que apresentaram valor médio absoluto, superior a cada uma das testemunhas, para cada caráter avaliado. As análises estatísticas foram procedidas com os aplicativos computacionais Office Excel e GENES (CRUZ, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A eficiência relativa do delineamento látice simples variou de 3,9% (altura de inserção da primeira vagem) a 48,3% (teor de ferro na semente) (Tabela 1), no entanto, como na maioria dos caracteres avaliados a eficiência do látice em relação a blocos ao acaso foi baixa, optou-se por realizar as análises seguindo delineamento blocos ao acaso. Na análise de variância foi constatado efeito significativo de família dentro de cada método de condução em relação à produtividade de grãos, ao acamamento, à nota geral de adaptação, ao ciclo, à altura de inserção de primeira vagem e aos teores de cálcio e de ferro, indicando resposta

diferenciada das famílias de feijão obtidas em cada método (Tabela 1). A existência de variabilidade genética entre as famílias, independentemente do método, possibilita a seleção de linhagens superiores tanto no método Genealógico como no SSD. Nesse caso, a apresentação da análise de variância para cada método de seleção é adequada (Tabela 2).

Tabela 1. Análise da variância em modelo hierárquico, considerando o delineamento blocos ao acaso, para produtividade de grãos (produtividade, kg ha⁻¹), acamamento (ACA), nota geral de adaptação (NG), ciclo (dias), altura de inserção de primeira vagem (AIIV, cm), teor de cálcio (cálcio, g kg⁻¹) e teor de ferro (ferro, mg kg⁻¹) do experimento de avaliação de famílias de feijão avançadas pelos métodos Genealógico e Descendente de uma Única Semente. Santa Maria – RS, UFSM, 2011

Fonte de variação	GL	Produtividade (kg ha ⁻¹)	ACA	NG	Ciclo (dias)	AIIV (cm)	Cálcio (g kg ⁻¹)	Ferro (mg kg ⁻¹)
Bloco	1	15210050	7,30	29,18	552,03	92,83	0,01	55849,53
Método	1	14780385 *	12,66 *	12,36 *	359,13 *	103,83 *	0,18 *	5539,88 *
Família (Método)	270	161448182 *	886,02 *	491,45 *	6142,11 *	4862,48 *	31,22 *	70510,00 *
Resíduo	271	46279740	408,20	381,81	4598,97	2182,22	10,62	40526,47
Média		1.178	5,76	5,73	75,10	16,98	1,39	82,76
CV (%)		35,07	21,43	20,71	5,48	16,71	14,22	14,79
Eficiência látice (%) ¹		13,75	7,55	17,44	11,38	3,92	5,73	48,27

¹ eficiência do delineamento látice em relação ao delineamento blocos ao acaso.

* significativo a 5% de probabilidade.

A variância entre famílias foi significativa para a produtividade de grãos, em cada método de condução de populações segregantes (Tabela 2). A produtividade média de grãos das famílias avançadas pelo método Genealógico (1.343 kg ha⁻¹) foi superior ao valor obtido no método SSD (1.014 kg ha⁻¹) (Tabela 2). Além disso, maior frequência de famílias com maior produtividade de grãos foi registrada no método Genealógico (Figura 1). Costa et al. (2002), avaliando famílias F₆ obtidas de diferentes cruzamentos, também, constataram que no método Genealógico foi possível selecionar maior número de famílias com alta produtividade de grãos. Portanto, a seleção que iniciou em geração F₂ e foi realizada em cada geração, foi efetiva para selecionar plantas mais adaptadas às condições de cultivo. A seleção realizada em ambientes diferentes e na estação de cultivo são vantagens desse método, destacadas por Destro; Montalván (1999).

Tabela 2. Estimativas do quadrado médio de famílias (QM_F), da média, do valor mínimo e máximo, da variância fenotípica (σ^2_F), da variância do ambiente (σ^2_E), da variância genética (σ^2_G), da herdabilidade no sentido restrito (h^2_r), do coeficiente de variação ambiental (CVe %), do coeficiente de variação genético (CVg %) e da razão CVg/CVe obtidos para a produtividade de grãos (produtividade, $kg\ ha^{-1}$), acamamento (ACA), nota geral de adaptação (NG), ciclo (dias), altura de inserção de primeira vagem (AIV, cm), teor de cálcio (cálcio, $g\ kg^{-1}$) e teor de ferro (ferro, $mg\ kg^{-1}$) no experimento de avaliação de famílias de feijão avançadas pelos métodos Genealógico (Gen.) e Descendente de uma Única Semente (SSD). Santa Maria – RS, UFSM, 2011

Parâmetros genéticos	Produtividade ($kg\ ha^{-1}$)		ACA		NG	
	Gen.	SSD	Gen.	SSD	Gen.	SSD
QM_F	649775,7*	546136,8*	3,18*	3,38*	1,85*	1,79*
Média	1.343	1.014	5,88	5,57	5,58	5,88
Mínimo	55	50	1	1	2	2
Máximo	3170	3368	9	9	9	9
V. fenotípica (σ^2_F)	324887,8	273068,4	1,59	1,69	0,92	0,90
V. ambiente (σ^2_E)	96895,3	74310,3	0,81	0,68	0,68	0,71
V. genética (σ^2_G)	227992,5	198758,1	0,78	1,00	0,24	0,18
H. restrita (h^2_r)	70,18	72,79	48,88	59,72	26,48	20,23
CVe (%)	32,77	38,03	21,69	20,93	20,87	20,33
CVg (%)	35,55	43,98	15	18,03	8,86	7,24
Razão CVg/ CVe	1,08	1,15	0,69	0,86	0,42	0,36

Parâmetros genéticos	Ciclo (dias)		AIV (cm)		Cálcio ($g\ kg^{-1}$)		Ferro ($mg\ kg^{-1}$)	
	Gen.	SSD	Gen.	SSD	Gen.	SSD	Gen.	SSD
QM_F	17,14 ^{ns}	28,35*	11,75*	24,26*	0,08*	0,15*	233,97*	288,32*
Média	74,29	75,91	16,54	17,41	1,37	1,41	79,57	85,95
Mínimo	68	69	10,75	8	0,70	0,50	50	51
Máximo	95	95	29,00	45	2,20	2,76	129	135
V. fenotípica (σ^2_F)	8,57	14,18	5,88	12,13	0,04	0,07	116,99	144,16
V. ambiente (σ^2_E)	7,06	9,91	3,22	4,80	0,01	0,02	64,27	85,63
V. genética (σ^2_G)	1,52	4,27	2,66	7,32	0,02	0,05	52,71	58,52
H. restrita (h^2_r)	17,69	30,12	45,25	60,38	64,78	66,85	45,06	40,60
CVe (%)	5,06	5,86	15,34	17,80	12,02	16,02	14,25	15,22
CVg (%)	1,66	2,72	9,86	15,54	11,53	16,09	9,12	8,90
Razão CVg/ CVe	0,33	0,46	0,64	0,87	0,96	1,00	0,64	0,58

* Significativo pelo teste F em 5% de probabilidade; ns: não significativo.

As famílias avançadas pelo método SSD apresentaram maior amplitude de variação para a produtividade de grãos, de 50 a 3.368 $kg\ ha^{-1}$ (Tabela 2). Resultado semelhante foi observado em famílias de feijão de alto nível de endogamia, obtidas pelo método SSD

(RAPOSO et al., 2000). Nesse método não se realizou seleção em casa-de-vegetação, portanto maior variabilidade genética obtida em F_2 foi preservada nas gerações avançadas. Com isso, maior número de famílias com produtividade de grãos inferior foi mantida no método SSD (Figura 1). Na Colômbia, os menores valores de produtividade de grãos foram constatados em famílias F_9 , avançadas pelo método SSD (URREA; SINGH, 1994).

As estimativas de herdabilidade foram iguais a 70,18% (Genealógico) e a 72,79% (SSD) (Tabela 2), indicando que a produtividade de grãos apresentou pouca influência não controlável, ocorrendo, assim, uma situação favorável para se realizar a seleção. Essas estimativas podem ser consideradas altas quando comparadas às normalmente relatadas para o feijão (RAMALHO et al., 1993; MORETO et al., 2007). Quando se avaliaram 100 famílias $F_{3:7}$, em diferentes ambientes, foram obtidas estimativas de herdabilidade de 27,00% a 79,70% para a produtividade de grãos (TORGA et al., 2010). A maior amplitude de variação observada foi justificada, pelos autores, aos efeitos da interação famílias x ambientes.

Os coeficientes de variação ambiental ($CV_e\%$) e genético ($CV_g\%$) para a produtividade de grãos foram elevados nos dois métodos de condução de populações segregantes (Tabela 2). Embora tenha sido obtida baixa precisão experimental ($CV_e\%$ alto, segundo Lúcio et al., 1999), o maior número de famílias avaliadas permitiu explorar melhor a variância genética liberada nos cruzamentos. Valores semelhantes de coeficiente de variação experimental foram observados em experimentos conduzidos em delineamento látice simples 14 x 14 (AGUIAR et al., 2000) e em látice triplo 10 x 10 (TORGA et al., 2010). Nesses casos, a maior variabilidade genética que pode ser acessada, compensa a menor precisão experimental no processo de seleção de linhagens superiores. Assim, maior intensidade de seleção pode ser aplicada, o que é interessante na avaliação preliminar de um grande número de famílias, pois contribui para aumentar o ganho genético.

Com relação ao acamamento, as notas variaram de 1 (todas as plantas eretas) a 9 (todas as plantas caídas, tocando o solo), possibilitando a seleção de plantas com menor acamamento tanto nas famílias avançadas pelo método Genealógico como pelo método SSD (Tabela 2). Plantas eretas, ou seja, com menor grau de acamamento, apresentam grande demanda pelo mercado, devido a possibilidade de se realizar a colheita mecanizada e a manual (MENDES et al., 2009), e porque apresentam melhor qualidade das sementes, pois o contato das vagens com o solo é diminuído substancialmente. Para tal propósito, a seleção de famílias obtidas pelo método SSD é promissora para a seleção de linhagens com arquitetura ereta, devido à maior frequência de famílias com menor acamamento, verificada nesse método (Figura 1).

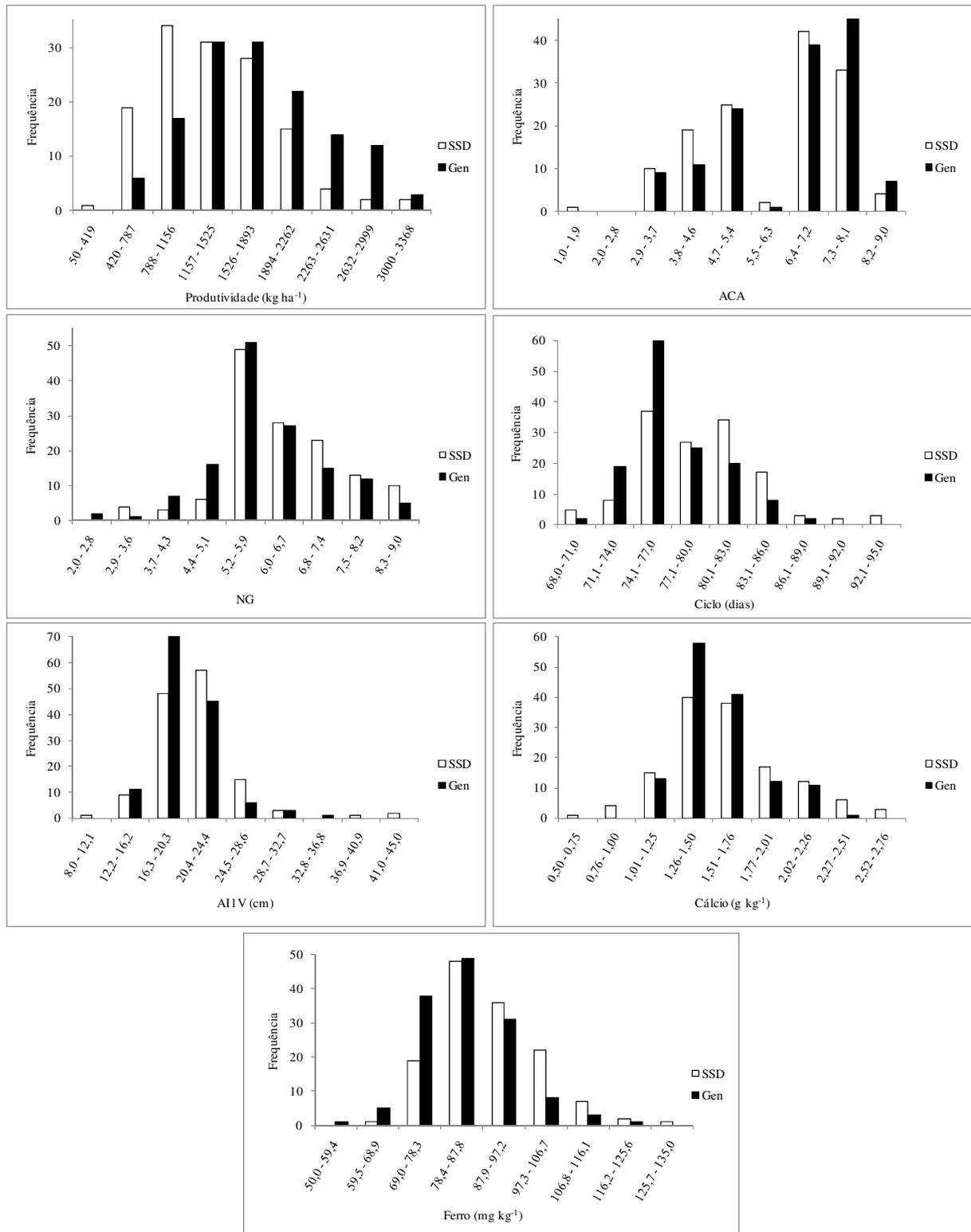


Figura 1. Distribuição de frequência da produtividade de grãos (kg ha⁻¹), do acamamento (ACA), da nota geral de adaptação (NG), do ciclo (dias), da altura de inserção de primeira vagem (AIIV, cm), do teor de cálcio (g kg⁻¹) e do teor de ferro (mg kg⁻¹) observados em famílias de feijão avançadas pelos métodos Genealógico (Gen.) e Descendente de uma Única Semente (SSD). Santa Maria – RS, UFSM, 2011

Estimativas moderadas de herdabilidade foram constatadas para o acamamento, de 48,88% (Genealógico) a 59,72% (SSD) (Tabela 2). Esses valores estão dentro dos limites inferiores e superiores de herdabilidade para as notas de porte obtidas na análise conjunta de famílias F_{4,5} e F_{4,6}, obtidas pelo método Genealógico por MORETO et al. (2007).

A nota geral de adaptação mostrou-se promissora para a seleção de famílias F₇, pois foi observada amplitude de variação de 2 a 9 nas famílias avançadas tanto no método Genealógico como no SSD (Tabela 2). As famílias com as menores notas gerais de adaptação são desejáveis, pois caracterizam plantas mais eretas, com menor número de hastes, maior número de vagens por planta e menor incidência de sintomas de doenças em vagens, caracterizando melhor adaptação. Maior frequência de plantas com esse padrão foi identificado nas famílias avançadas pelo método Genealógico (Figura 1). A seleção indireta, por meio da nota geral de adaptação, foi eficiente para o incremento da produtividade de grãos de feijão em linhas endogâmicas, pois correlação linear negativa ($r = -0,6134$) foi verificada entre esses dois caracteres (RIBEIRO et al., 2010).

Estimativas de herdabilidade de baixa magnitude foram observadas para a nota geral de adaptação, de 26,48% (Genealógico) e de 20,23% (SSD) (Tabela 2). Isso ocorreu porque a variância ambiental foi mais expressiva do que a variância genética para a nota geral de adaptação nos dois métodos de condução de populações segregantes, o que poderá resultar em dificuldades para a seleção, devido à maior influência não controlável do ambiente.

Grande parte das cultivares de feijão em cultivo no Brasil apresenta ciclo intermediário, ou seja, o período compreendido entre a emergência até a maturação dura, aproximadamente, 90 dias (ZIMMERMANN et al., 1996). As cultivares de ciclo precoce necessitam de cerca de 70 dias para que a colheita seja realizada e possuem número reduzido de cultivares inscritas no Registro Nacional de Cultivares – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (RNC-MAPA) (MAPA, 2010). No presente estudo, o ciclo variou de 68 a 95 dias (Tabela 2). Portanto, a partir de cruzamentos entre cultivares de feijão Mesoamericanas de ciclo intermediário, foi possível obter famílias de ciclo precoce e intermediário em ambos os métodos de condução de populações segregantes.

Maior número de famílias com ciclo precoce foi identificado no método Genealógico (Figura 1). No método SSD, foi possível observar maior frequência de famílias com ciclo intermediário. Entretanto, Urrea; Singh (1994) constataram que, em média, as famílias obtidas pelo método SSD foram mais precoces do que as famílias derivadas de plantas F₂ e àquelas obtidas pelo método Populacional, na Colômbia. As diferenças de clima e de solo devem ter contribuído para as diferenças relatadas.

A variância ambiental foi mais expressiva do que a variância genética para o ciclo nos dois métodos de condução de populações segregantes, por isso foram obtidas estimativas de herdabilidade de baixa magnitude no método Genealógico ($h^2_r= 17,69\%$) e no método SSD ($h^2_r= 30,12\%$) (Tabela 2). Nesse caso, esperam-se dificuldades para se realizar a seleção, pois o ciclo apresentou muita influência não controlável.

A maior média para a altura de inserção de primeira vagem (17,41 cm) e o maior número de famílias com superioridade para esse caráter foi observado quando as famílias foram avançadas pelo método SSD (Tabela 2, Figura 1). Foram obtidas estimativas moderadas de herdabilidade para a altura de inserção de primeira vagem, de 45,25% (Genealógico) e de 60,38% (SSD). Assim, as facilidades para a seleção de linhagens com maior altura de inserção de primeira vagem serão similares àquelas que se espera para a identificação de plantas de feijão com menor acamamento.

Em relação aos teores de cálcio e de ferro em sementes de feijão, em que a variância entre famílias foi significativa para ambos os métodos (Tabela 2), também se verificou maior amplitude de variação para as famílias avançadas pelo método SSD, com valores de 0,50 a 2,76 g cálcio kg^{-1} de MS e de 51 a 135 mg ferro kg^{-1} de MS, respectivamente (Tabela 2). Esses valores foram muito similares aos teores de cálcio e de ferro observados em 21 genótipos de feijão cultivados no Brasil (MESQUITA et al., 2007).

A maior média para o teor de cálcio (1,41 g kg^{-1} de MS) e o maior número de famílias com teor de cálcio superior a 1,70 g kg^{-1} de MS foram observadas quando as famílias foram obtidas pelo método SSD (Tabela 2 e Figura 1). No método SSD, a variância genética ($\sigma^2_G=0,05$) foi mais expressiva do que a variância do ambiente ($\sigma^2_E=0,02$), portanto estimativa de herdabilidade de alta magnitude foi observada para o teor de cálcio ($h^2_r= 66,85$). Em gerações precoces, constatou-se que o teor de cálcio em sementes de feijão apresentou maior influência dos efeitos gênicos aditivos e obteve-se estimativa de herdabilidade em sentido restrito de moderada (47,00%) a alta (63,61%) magnitude (JOST et al., 2009a). Quando a variância aditiva é responsável pela maior parte da variância genética, o caráter pode ser fixado (CARVALHO et al., 2001); portanto, esperam-se facilidades para a seleção de linhagens de feijão com alto teor de cálcio nas sementes.

Famílias F_7 transgressivas foram observadas para o teor de cálcio em sementes de feijão (Figura 1). Resultado similar foi obtido em famílias $F_{2;3}$ desenvolvidas de um cruzamento entre genótipos cultivados e genótipos silvestres (GUZMÁN-MALDONADO et al., 2003). Segundo estes autores, a existência de variação transgressiva, como a observada para o teor de cálcio, poderia encorajar os melhoristas de plantas, pois indica que existe

combinação de genes, o que pode resultar em melhor desempenho dos caracteres na ausência de sobredominância. Para capitalizar a segregação transgressiva, famílias individuais no extremo da distribuição normal devem ser escolhidas para avanços de gerações e testes.

Menores valores de $CVe\%$ e de $CVg\%$ para o teor de cálcio foram obtidos quando as famílias foram avaliadas pelo método Genealógico (Tabela 2). Entretanto, a razão CVg/CVe foi superior para as famílias avançadas pelo método SSD, indicando maior expressão da variabilidade genética. Portanto, quando o objetivo do programa de melhoramento for o desenvolvimento de germoplasma de feijão com alto teor de cálcio nas sementes, o método SSD é adequado para conduzir as populações segregantes, pois foram observados os maiores valores de cálcio, de variância genética, de herdabilidade e da razão CVg/CVe .

Para o teor de ferro, verificou-se que a maior média geral, também, foi observada para as famílias avançadas pelo método SSD (85,95 mg kg⁻¹ de MS) (Tabela 2). O teor de ferro apresentou distribuição contínua em famílias F_7 e segregação transgressiva tanto para baixo como para alto teor de ferro foram observadas (Figura 1). Pelo método SSD, obteve-se o maior número de famílias com teor de ferro superior a 94 mg kg⁻¹ de MS (Figura 1).

A variância ambiental foi mais expressiva do que a variância genética nos dois métodos de condução de populações segregantes, por isso foram obtidas estimativas de herdabilidade de moderada magnitude para o teor de ferro nas famílias avançadas pelo método Genealógico ($h^2r= 45,06\%$) e SSD ($h^2r= 40,60\%$). Em gerações precoces, também se constatou moderada herdabilidade em sentido restrito (50,60%) para o teor de ferro em sementes de feijão (JOST et al., 2009b). Estudos prévios, também, têm mostrado que o teor de ferro em sementes de feijão apresenta distribuição contínua entre famílias $F_{2,3}$ (GUZMAN-MALDONADO et al., 2003) e entre famílias $F_{7:11}$ (BLAIR et al., 2009). Esses resultados confirmam que a herança para o teor de ferro em sementes de feijão é quantitativa (BEEBE et al., 2000; BLAIR et al., 2009). Assim, a seleção genética para o teor de ferro pode ser dificultada, pois o efeito individual dos loci influenciando esse caráter é difícil de isolar e caracterizar.

Um método de condução de população segregante será tanto mais eficiente quanto maior for a magnitude do ganho genético para um mesmo diferencial de seleção (RAPOSO et al., 2000). Portanto, além do desempenho médio das famílias, a probabilidade de maior ganho com a seleção deve ser considerada na escolha do método de seleção. Nesse sentido, foram obtidas as médias das 5, 10 e 20 melhores famílias do total avaliado (Tabela 3). A produtividade média de grãos das 5, 10 e 20 famílias superiores foi maior no método Genealógico. Por sua vez, não foram observadas diferenças significativas para as 5, 10 e 20

melhores famílias para acamamento, nota geral de adaptação, ciclo e para os teores médios de cálcio e de ferro nas sementes. A maior altura de inserção de primeira vagem foi observada nas 5, 10 e 20 famílias superiores avançadas pelo método SSD. De maneira similar, Costa et al. (2002) constataram que os métodos de condução de populações segregantes foram contrastantes na identificação de famílias mais produtivas.

Tabela 3. Produtividade de grãos (produtividade, kg ha⁻¹), acamamento (ACA), nota geral de adaptação (NG), ciclo (dias), altura de inserção de primeira vagem (AIV, cm), teor de cálcio (cálcio, g kg⁻¹) e teor de ferro (ferro, mg kg⁻¹) das 5, 10 e 20 famílias superiores, em valores absolutos, obtidas nos métodos Genealógico (Gen.) e Descendente de uma Única Semente (SSD). Santa Maria – RS, UFSM, 2011

Grupo de famílias		Produtividade		ACA		NG		Ciclo	
		Gen.	SSD	Gen.	SSD	Gen.	SSD	Gen.	SSD
Superiores	5	2553,40*	2369,80	3 ^{ns}	3	4 ^{ns}	4	69,80 ^{ns}	69,00
	10	2438,10*	2137,70	3 ^{ns}	3	4 ^{ns}	4	70,15 ^{ns}	69,70
	20	2297,58*	1905,30	4 ^{ns}	3	4 ^{ns}	4	70,38 ^{ns}	70,68
		AIV		Cálcio		Ferro			
		Gen.	SSD	Gen.	SSD	Gen.	SSD		
Superiores	5	24,22*	29,29	1,89 ^{ns}	2,13	108,50 ^{ns}	117,50		
	10	22,63*	25,94	1,82 ^{ns}	2,02	103,15 ^{ns}	111,25		
	20	20,86*	23,46	1,74 ^{ns}	1,90	98,10 ^{ns}	106,25		

* Médias diferem significativamente pelo teste t a 5% de probabilidade.

O número de famílias cujo desempenho médio supera, em valores absolutos, a média de uma testemunha previamente selecionada (padrão), também, pode ser utilizado para comparar a eficiência de diferentes métodos de condução de populações segregantes. Portanto, o método Genealógico foi eficiente na seleção de maior número de famílias com alto potencial de produtividade de grãos, pois 29 famílias superaram a melhor testemunha (Minuano, 1.811 kg ha⁻¹) (Tabela 4). Além disso, observou-se que a produtividade de grãos de um grande número de famílias obtidas pelo Programa de Melhoramento de Feijão da UFSM foi superior ao observado nas cultivares testemunhas. Como todas as cultivares testemunhas avaliadas no presente estudo estão registradas no RNC-MAPA para o cultivo no Rio Grande do Sul, de acordo com o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (MAPA, 2010), há perspectivas de

que a seleção realizada nessas famílias resulte no registro de novas cultivares de feijão para o Estado.

O método Genealógico, também, foi mais eficiente na seleção de maior número de linhagens com menor nota geral de adaptação (melhor adaptação). Foram obtidas 26 linhagens com notas gerais de adaptação inferiores aos valores verificados nas cultivares BRS Supremo, TPS Nobre, BRS Valente e Guapo Brilhante (nota 4). Como no cultivo realizado na safra agrícola de 2009/2010, em Santa Maria, RS, foi registrada alta quantidade de precipitação pluvial, principalmente no sub-período floração à colheita, e temperatura média do ar elevada, esses fatores contribuiram para que as notas gerais de adaptação fossem altas (pior adaptação) em grande número de famílias e nas testemunhas, em razão da maior ocorrência de doenças. Adicionalmente, a seleção de famílias pelo método Genealógico foi mais eficiente na seleção de linhagens de ciclo mais precoce, obtendo-se 59 linhagens mais precoces do que a cultivar Macanudo (testemunha de grãos pretos, com ciclo de 73 dias) e 81 linhagens mais precoces do que a cultivar Iraí (testemunha do grupo de cor, com ciclo de 74 dias) (Tabela 4).

O método SSD foi eficiente na seleção para acamamento e para altura de inserção de primeira vagem (Tabela 4). Foi possível selecionar 11 linhagens de arquitetura mais ereta (menor acamamento) do que as testemunhas TPS Nobre e Iraí que registraram as menores notas de acamamento (3). Muitas famílias apresentaram altura de inserção de primeira vagem superior às testemunhas avaliadas, sendo que 17 dessas superaram a cultivar de maior altura de inserção de primeira vagem, TPS Bonito.

O método SSD também apresentou maior eficiência na seleção de famílias com maior teor de cálcio e de ferro. Assim, foi possível obter três linhagens com teor de cálcio nas sementes superior a cultivar BRS Expedito ($2,05 \text{ g kg}^{-1}$ de MS). A cultivar BRS Expedito foi considerada como testemunha devido ao alto teor de cálcio observado nas sementes nesse estudo e por Jost et al. (2009a). Por sua vez, a cultivar TPS Bonito foi a testemunha de maior teor de ferro nas sementes (102 mg kg^{-1} de MS). Treze linhagens superaram a cultivar TPS Bonito no teor de ferro nas sementes.

Finalmente, qual método de condução de populações segregantes deverá ser utilizado quando o objetivo do programa de melhoramento for a seleção de linhagens de feijão com alta produtividade de grãos, combinada com os caracteres morfológicos e fenológicos de interesse agrícola e com maior qualidade nutricional? A decisão dependerá da genética do caráter, da facilidade de condução do método, do tempo, da mão-de-obra e dos custos necessários (BORÉM; VIEIRA, 2009; RAPOSO et al., 2000). Além disso, a eficiência do método na

Tabela 4. Média de cada testemunha (test.), número de famílias superiores a cada testemunha obtida pelo método Genealógico (Gen.) e Descendente de uma Única Semente (SSD), em valor absoluto, e média geral das testemunhas para produtividade de grãos (produtividade, kg ha⁻¹), acamamento (ACA), nota geral de adaptação (NG), ciclo (dias), altura de inserção de primeira vagem (AIV, cm), teor de cálcio (cálcio, g kg⁻¹) e teor de ferro (ferro, mg kg⁻¹) em sementes de feijão. Santa Maria – RS, UFSM, 2011

Testemunha	Produtividade			ACA			NG			Ciclo		
	Test.	Gen.	SSD	Test.	Gen.	SSD	Test.	Gen.	SSD	Test.	Gen.	SSD
Mínuano (P)*	1811	29	8	7	129	132	6	119	113	75	102	67
BRS Supremo (P)	1341	65	36	4	20	30	4	26	13	77	122	104
Macotaço (P)	1254	73	43	6	83	99	6	104	90	79	132	125
TPS Nobre (P)	1207	80	46	3	9	11	4	26	13	77	122	104
BRS Valente (P)	1115	85	52	4	20	30	4	26	13	77	122	104
Macanudo (P)	1035	90	55	6	83	99	5	77	62	73	59	37
Pérola (C)	1035	90	55	6	83	99	5	77	62	74	81	50
Guapo Brilhante (P)	1016	91	58	4	20	30	4	26	13	77	122	104
IAPAR 44 (P)	945	100	69	7	129	132	7	131	126	76	106	77
BRS Expedito (P)	902	104	76	5	44	55	6	104	90	79	132	125
Iraí (M)	884	106	78	3	9	11	5	51	29	74	81	50
Diamante Negro (P)	822	112	82	7	129	132	7	131	126	79	132	125
BRS Campeiro (P)	547	127	108	6	83	99	6	104	90	77	122	104
Carioca (C)	540	127	108	7	129	132	7	131	126	83	135	126
Fepagro 26 (P)	520	128	110	7	129	132	6	119	113	79	132	125
Rio Tibagi (P)	493	130	114	7	129	132	6	119	113	77	122	104
TPS Bonito (C)	55	136	136	8	136	136	9	136	136	81	133	127
Média	913	103	76	5	45	57	6	77	90	78	122	104

Testemunha	AIV			Cálcio			Ferro		
	Test.	Gen.	SSD	Test.	Geneal.	SSD	Test.	Geneal.	SSD
Mínuano	14,10	122	121	1,34	66	77	81,00	60	88
BRS Supremo	14,68	110	114	1,16	123	116	96,50	10	25
Macotaço	18,88	15	31	1,46	38	52	58,50	136	136
TPS Nobre	15,53	88	100	1,76	7	16	79,00	69	98
BRS Valente	14,40	120	117	1,65	17	24	91,50	18	41
Macanudo	15,50	89	100	1,99	1	3	79,50	69	95
Pérola	14,88	106	113	1,67	15	21	76,00	85	107
Guapo Brilhante	13,85	123	124	1,25	101	101	81,00	60	88
IAPAR 44	13,62	125	126	1,77	7	16	86,00	34	65
BRS Expedito	16,49	60	82	2,05	1	3	85,00	39	67
Iraí	13,01	132	130	1,00	135	130	80,50	63	88
Diamante Negro	19,35	14	27	1,60	20	29	84,00	45	70
BRS Campeiro	16,19	67	85	1,45	40	52	89,00	21	50
Carioca	18,76	17	32	1,47	35	49	73,00	98	120
Fepagro 26	16,40	61	83	1,36	60	71	87,00	28	59
Rio Tibagi	19,54	13	24	1,48	33	49	97,50	8	24
TPS Bonito	20,75	8	17	1,38	57	69	102,00	5	13
Média	16,23	66	85	1,52	24	39	83,94	45	70

* testemunhas: P: grupo comercial preto; C: grãos tipo carioca; M: grãos tipo manteigão.

identificação de maior número de linhagens com superioridade genética para os caracteres de interesse é de grande importância. Foram obtidas várias linhagens com caracteres avaliados superiores as cultivares testemunhas, independente do método de condução de população segregante utilizado (Tabela 4). Portanto, muitas famílias apresentaram superioridade genética e a seleção destas poderá resultar em novas cultivares de feijão de alto desempenho agrônomico e de elevada qualidade nutricional.

A disponibilização de cultivares de feijão com qualidades agrônomicas e com teores de cálcio e de ferro superiores às cultivares comerciais apresenta vantagens mercadológicas para os produtores rurais e pode representar a diminuição de problemas crônicos de deficiências minerais, pois o feijão é cultivado em quase todos os países de clima tropical e subtropical e, em muitas regiões, é possível a colheita em até três vezes ao ano.

CONCLUSÕES

A produtividade de grãos e o teor de cálcio nas sementes têm herdabilidade em sentido restrito alta em famílias de feijão em geração F₇.

O acamamento, a altura de inserção de primeira vagem e o teor de ferro têm herdabilidade moderada e nota geral de adaptação e o ciclo têm herdabilidade baixa.

O método Genealógico permite a obtenção de maior número de famílias com alta produtividade de grãos, de menor nota geral de adaptação (melhor adaptação) e de ciclo precoce.

A seleção pelo método Descendente de uma Única Semente possibilita a identificação de maior número de famílias com menores notas de acamamento (porte ereto), com maior altura de inserção de primeira vagem e com maiores teores de cálcio e de ferro nas sementes.

CAPITULO 2

COMPARAÇÃO DE EFICIÊNCIA DE SELEÇÃO DIRETA E ÍNDICES DE SELEÇÃO NA IDENTIFICAÇÃO DE FAMÍLIAS SUPERIORES DE FEIJÃO

COMPARISON OF SELECTION EFFICIENCY OF DIRECT AND INDICES SELECTION TO IDENTIFY BETTER FAMILIES IN COMMON BEAN

RESUMO

Índices de seleção, normalmente, são combinações lineares que permitem a seleção para vários caracteres simultaneamente, promovendo o melhoramento das populações para o conjunto de variáveis. Este trabalho teve por objetivo verificar a eficiência dos índices de seleção na identificação de linhagens superiores de feijão simultaneamente para produtividade de grãos, caracteres morfológicos, fenológicos e nutricionais. Foram comparados: seleção direta, seleção indireta, índice clássico (HAZEL, 1943; SMITH, 1936), índice base (WILLIAMS, 1962), índice livre de pesos e parâmetros (ELSTON, 1963), índice baseado nos ganhos desejados (PESEK; BAKER, 1969), índice multiplicativo (SUBANDI et al., 1973) e índice baseado na soma de ranks (MULAMBA; MOCK, 1978). A seleção direta e a seleção indireta não foram eficientes na seleção simultânea de caracteres, pois não apresentaram distribuição de ganhos desejada. Os índices clássico (HAZEL, 1943; SMITH, 1936), base (WILLIAMS, 1962) e multiplicativo (SUBANDI et al., 1973) apresentaram respostas de ganho equilibradas entre os caracteres, estando de acordo com os propósitos do presente trabalho. Desta forma, a seleção simultânea de caracteres através destes índices de seleção é possível e pode resultar em progresso genético nas linhagens de feijão selecionadas.

Palavras-chaves: *Phaseolus vulgaris* L.. Seleção simultânea de caracteres. Ganhos por seleção. Qualidade nutricional.

ABSTRACT

Selection indices are usually linear combinations that allow the selection to several traits simultaneously, promoting the improvement of populations for all variables. This study aimed to verify the efficiency of selection indices in the identification of higher common bean lines simultaneously to seed yield, morphological, phenologic and nutritional traits. Were compared: direct selection, indirect selection, classical index (SMITH, 1936; HAZEL, 1943), base index (WILLIAMS, 1962), parameter and weight free index (ELSTON, 1963) desired gains index (PESEK; BAKER, 1969), multiplicative index (SUBANDI et al., 1973) and rank summation index (MULAMBA; MOCK, 1978). The direct and indirect selection were not efficient in the simultaneous selection of traits, it did not show gains distribution desirable. The classic index (HAZEL, 1943; SMITH, 1936), base index (WILLIAMS, 1962) and multiplicative index (SUBANDI et al., 1973) showed response gain balanced between the characters, which is consistent with the purposes of this work. Thus, the simultaneous selection of characters through these selection index is possible and can result in genetic progress in selected common bean lines.

Key-words: *Phaseolus vulgaris* L.. Simultaneous selection of traits. Selection gains. Nutritional quality.

INTRODUÇÃO

Ganhos genéticos na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) foram obtidos ao longo dos últimos anos para vários caracteres (ACOSTA-GALLEGOS et al., 2007). Assim, foi possível desenvolver cultivares com caracteres agronômicos específicos como, por exemplo, alta produtividade de grãos, resistência ao acamamento, resistência à doenças, resistência à seca e com maior e melhor composição nutricional. No entanto, quando a seleção é praticada em determinado caráter (seleção direta), normalmente, proporciona alterações em outros, em virtude de correlações genéticas. Tal fenômeno é denominado resposta correlacionada à seleção, ou também conhecida como seleção indireta e o seu sentido pode ser ou não de interesse do melhorista (CRUZ; REGAZZI, 1997). Assim, ainda é difícil encontrar disponível

cultivares de feijão que agregam em um mesmo genótipo, vários destes caracteres simultaneamente.

Para amenizar esse problema, uma estratégia que pode ser utilizada pelos melhoristas é o emprego dos índices de seleção, os quais possibilitam agregar múltiplas informações contidas na unidade experimental, visando à seleção com base em um conjunto de variáveis que reúna vários atributos de interesse econômico (CRUZ; REGAZZI, 1997). A utilização dos índices de seleção consiste em estabelecer um novo caráter (supercaráter), que é uma combinação linear dos caracteres envolvidos, cujos coeficientes de ponderação são estimados de modo a maximizar a correlação entre o índice e o agregado genotípico (valores genéticos verdadeiros dos candidatos à seleção) (WHITE; HODGE, 1989; VAN VLECK, 1993).

Alguns índices de seleção, desenvolvidos com o propósito de maximizar os ganhos para múltiplos caracteres, são citados por Cruz; Regazzi (1997). O primeiro mencionado é o índice clássico, proposto por Smith (1936) e Hazel (1943), o qual consiste em uma combinação linear de vários caracteres de importância econômica, cujos coeficientes de ponderação são estimados de modo a maximizar a correlação entre o índice e o agregado genotípico (CRUZ; CARNEIRO, 2003). No entanto, limitações nesse índice podem prejudicar a seleção devido às imprecisões nas matrizes de variâncias e de covariâncias, além de que requer um bom conhecimento por parte dos melhoristas no estabelecimento dos pesos econômicos. Cruz (1990) relatou que os pesos econômicos podem ser estabelecidos a partir de estatísticas dos próprios dados experimentais e que o coeficiente de variação genético, por ser diretamente proporcional ao desvio-padrão genético, mantém, de certa forma, a proporcionalidade entre os caracteres e, ainda, por ser adimensional, poderia ser um bom referencial.

O índice base (WILLIAMS, 1962) propõe o estabelecimento de índices mediante a combinação linear dos valores fenotípicos médios dos caracteres, os quais são ponderados diretamente pelos seus respectivos pesos econômicos. Tem como objetivo evitar a interferência de imprecisões das matrizes de covariâncias fenotípicas e genotípicas na estimação dos coeficientes que constituem o índice (CRUZ; REGAZZI, 1997).

O índice “livre de pesos” e “livre de parâmetros” foi apresentado por Elston (1963) e caracteriza-se por eliminar a necessidade de estabelecer pesos econômicos relativos aos caracteres e de estimar as variâncias e covariâncias fenotípicas e genotípicas. Neste índice, um valor mínimo (ou máximo) é estabelecido, sendo descartados todos os genótipos fora dos valores pré-definidos (CRUZ; REGAZZI, 1997).

Preocupados, também, com a dificuldade de estabelecer com exatidão os pesos econômicos, Pesek; Baker (1969) propuseram um índice em que os pesos poderiam ser substituídos pelos ganhos desejados pelo melhorista para cada caráter. Baker (1986) assegurou que os pesos econômicos devem ser estabelecidos, respeitando-se a proporcionalidade dos caracteres envolvidos. Resultados satisfatórios foram obtidos quando utilizaram-se ganhos desejados equivalentes a um desvio padrão genético para cada caráter (CROSSBIE et al., 1980; VIEIRA, 1988).

No índice multiplicativo, proposto por Subandi et al. (1973), os valores padronizados de cada caráter, por genótipo, são multiplicados para constituírem o índice. Já o índice baseado em soma de “ranks” (MULAMBA; MOCK, 1978) consiste em classificar os genótipos em relação a cada um dos caracteres, em ordem favorável ao melhoramento, sendo na sequência somadas as ordens de cada material, resultando no índice de seleção.

De posse dessas diferentes possibilidades de seleção cabe ao melhorista definir qual é o índice a ser utilizado. Estudos prévios de comparações podem auxiliar o pesquisador no momento da escolha do índice mais adequado. Na literatura podem-se observar alguns trabalhos utilizando índices na seleção de genótipos em diferentes espécies, tais como batata (BARBOSA; PINTO, 1997), feijão caupi (SANTOS; ARAÚJO, 2001, BERTINI et al., 2010), soja (COSTA et al., 2004) e alfafa (VASCONCELOS et al., 2010). Em feijão comum, Bertoldo et al. (2010) avaliaram a eficiência de dois índices de seleção (índice clássico e índice baseado nos ganhos desejados) para caracteres morfológicos e fenológicos em número bem restrito de genótipos. Não há registro da aplicação desses índices para a seleção simultânea de caracteres da produção, morfológicos, fenológicos e nutricionais para a cultura do feijão.

Assim, o presente trabalho teve por objetivo comparar a eficiência da seleção direta, da seleção indireta e dos índices clássico (HAZEL, 1943; SMITH, 1936), índice base (WILLIAMS, 1962), índice livre de pesos e parâmetros (ELSTON, 1963), índice baseado nos ganhos desejados (PESEK; BAKER, 1969), índice multiplicativo (SUBANDI et al., 1973) e índice baseado na soma de ranks (MULAMBA; MOCK, 1978) na identificação de famílias de feijão com maior produtividade de grãos, com caracteres morfológicos e fenológicos desejáveis e maiores teores de cálcio e de ferro nas sementes.

MATERIAL E MÉTODOS

No cultivo de safra agrícola de 2009/2010 foram avaliadas 272 linhagens F₇, obtidas pelo Programa de Melhoramento de Feijão da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Essas linhagens foram desenvolvidas inicialmente por meio de hibridações dirigidas entre cultivares contrastantes para os teores de cálcio e de ferro nas sementes (JOST et al, 2009a; JOST et al, 2009b). Quando em segregação, essas populações foram conduzidas pelos métodos Genealógico (com seleção para a produtividade de grãos) e Descendente de uma Única Semente (SSD). 136 linhagens foram obtidas do bloco de cruzamento de cálcio e 136 do bloco de cruzamento de ferro, sendo que, para cada bloco de cruzamento, foram obtidas 68 linhagens pelo método Genealógico e 68, pelo método SSD. Um total de 17 cultivares testemunhas foram utilizadas para completar o número total de genótipos avaliados, sendo as seis cultivares parentais: Pérola (1,37 g kg⁻¹ de cálcio de matéria seca - MS), TPS Bonito (0,84 g kg⁻¹ de cálcio de MS), BRS Exedito (1,32 g kg⁻¹ de cálcio de MS), Minuano (82,88 mg kg⁻¹ de ferro de MS), Diamante Negro (62,81 mg kg⁻¹ de ferro de MS) e IAPAR 44 (66,73 mg kg⁻¹ de ferro de MS) e onze cultivares registradas para o cultivo no Estado do Rio Grande do Sul (TPS Nobre, BRS Campeiro, FEPAGRO 26, Carioca, Macotaço, Iraí, Macanudo, Guapo Brilhante, Rio Tibagi, BRS Supremo e BRS Valente) (MAPA, 2010).

O delineamento experimental utilizado foi um látice simples 17 x 17, sendo cada parcela constituída de duas linhas de 1 m de comprimento com 15 sementes. O experimento foi conduzido em área experimental do Programa de Melhoramento de Feijão da UFSM. Santa Maria está situada na região da depressão central do Rio Grande do Sul (RS), a 95 m de altitude, latitude 29°42'S e longitude 53°43'W. O clima da região é do tipo Cfa, temperado chuvoso, com chuvas bem distribuídas ao longo dos anos, e subtropical do ponto de vista térmico. O solo é classificado como Alissolo Hipocrômico argilúvico típico, pertencente à unidade de mapeamento Santa Maria. Os experimentos receberam preparo do solo de maneira convencional e a adubação foi realizada com base na interpretação da análise química do solo. O controle de insetos e de plantas invasoras foi executado sempre que necessário a fim de não comprometer o desenvolvimento da cultura. O controle de doenças não foi efetuado.

As plantas foram colhidas na maturação, trilhadas manualmente e as sementes foram secas ao sol e em estufa (65 a 70 °C), até umidade média de 13%, quando se determinou a produtividade de grãos em kg ha⁻¹. O acamamento foi quantificado na maturação por meio de observação visual e atribuindo-se notas que variam de 1 a 9, em que a nota 1, corresponde a

todas as plantas eretas; 2- poucas plantas caídas ou todas as plantas levemente inclinadas; 3- 25% das plantas caídas ou todas as plantas inclinadas em torno de 25°; 5- 50% das plantas caídas ou todas as plantas inclinadas a 45°; 7- 75% das plantas caídas ou todas inclinadas a 65°; 8- poucas plantas não estão caídas ou quase tocando o solo; e 9- todas as plantas caídas, tocando o solo (CIAT, 1987). O percentual de plantas caídas, o grau de inclinação e o percentual de plantas em contato com o solo foram estimados de forma visual, sem a utilização de réguas ou de equipamentos. A nota geral de adaptação foi determinada na maturação, adotando-se a escala de notas descrita em Ribeiro et al. (2010). O ciclo foi avaliado quando metade mais uma das plantas da parcela útil atingiram o estágio R9 (maturação), de acordo com a escala fenológica proposta pelo CIAT (1987). A altura de inserção da primeira vagem foi medida em 10 plantas da área útil, coletadas ao acaso, sendo considerada a distância entre o nível do solo e a altura de inserção, não considerando o grau de acamamento da planta.

Amostras de sementes de feijão cru de cada linhagem (embrião na geração F₈) foram tomadas ao acaso e moídas em micromoinho a fim de se obter tamanho de partículas inferior a 1 mm. Logo após, as amostras ficaram armazenadas em potes plásticos, devidamente identificados, e conservadas sob refrigeração (0° C) até o momento das análises químicas. Os teores de cálcio e de ferro foram determinados no extrato da digestão nítrica-perclórica (HNO₃ + HClO₄, na proporção 3:1), de acordo com a metodologia descrita em Miyazawa et al. (1999). As quantificações dos teores de cálcio e de ferro foram obtidas em espectrofotômetro de absorção atômica por visualização de registros, utilizando comprimento de onda de 422,70 nm e de 248,3 nm, respectivamente.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância segundo o modelo látice para verificar a existência de variabilidade entre os genótipos. A eficiência do delineamento látice simples em relação aos blocos ao acaso foi determinada, como apresentado em Ramalho et al. (2000). A análise de correlação linear de Pearson foi realizada entre os caracteres analisados, com base em 289 observações. A significância do coeficiente de correlação linear foi verificada por meio do teste t de Student, em nível de 5% de probabilidade.

O ganho por seleção direta foi estimado pela expressão: $\Delta G\% = 100(DS \times h^2) / \bar{X}$, em que $\Delta G\%$ é o ganho devido à seleção, expresso em percentagem da média; DS é o diferencial de seleção; h^2 é o coeficiente de herdabilidade; e \bar{X} é a média original. O ganho por seleção indireta foi estimado pela expressão: $\Delta GX(Y)\% = [DSX(Y) \times h^2(X)] / \bar{X}$, em que $\Delta GX(Y)$ é o

ganho no caráter X (denominado caráter secundário), com seleção no caráter Y (denominado caráter principal); $DSX(Y)$ é o diferencial de seleção indireto no caráter X, com a seleção em Y; e $h^2(X)$ é a herdabilidade do caráter X.

Para a obtenção das estimativas dos progressos genéticos na seleção utilizaram-se seis diferentes índices de seleção, os quais serão resumidamente apresentados a seguir. No índice clássico, proposto por Smith (1936) e Hazel (1943), o índice (I) e o agregado genotípico (H) são assim descritos:

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

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

em que n é o número de caracteres avaliados; b' é um vetor $1 \times n$ dos coeficientes lineares a serem estimados; x é um vetor $n \times 1$ de médias dos caracteres; a' é um vetor $1 \times n$ de pesos econômicos previamente estabelecidos; e g é um vetor $n \times 1$ de valores genéticos desconhecidos dos n caracteres.

Em função das estruturas do índice e do agregado genotípico, pode-se deduzir que:

$$\hat{b} = P^{-1}Ga$$

em que P é a matriz de co-variâncias fenotípicas e G é a matriz de co-variâncias genéticas entre os caracteres. Na aplicação do índice clássico, considerou-se como peso econômico o coeficiente de variação genético de cada caráter, conforme sugestão de Cruz (1990), e peso econômico proporcional a um ganho de 10% em relação a média para cada caráter, conforme exemplo apresentado em Cruz; Regazzi (1997).

No índice base proposto por Willians (1962) faz-se a combinação linear dos valores fenotípicos médios dos caracteres, os quais são ponderados diretamente pelos seus respectivos pesos econômicos. Algebricamente tem-se:

$$I_b = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n = a'x$$

em que x e a são vetores $n \times 1$, cujos elementos são as médias e os pesos econômicos dos caracteres estudados, respectivamente. Os pesos econômicos utilizados na aplicação deste índice foram equivalentes a um ganho de 10% em relação a média e equivalentes a um desvio padrão para cada caráter.

No índice “livre de pesos” e “livre de parâmetros”, proposto por Elston (1963), a definição do índice ocorre da seguinte forma:

$$I_e = \omega_1\omega_2\dots\omega_n \text{ em que: } \omega_j = x_j - k_j$$

onde k_j é um valor mínimo (ou máximo) estabelecido pelo melhorista para o j -ésimo caráter, não havendo a necessidade de se estabelecer pesos econômicos para os caracteres analisados.

Para construção do índice baseado nos “ganhos desejados” proposto por Pesek; Baker (1969), deve se considerar a expressão do ganho desejado para os caracteres, definida por:

$$\Delta Gd = \frac{G\hat{b}}{\hat{\sigma}_I}$$

em que ΔGd é o vetor de ganhos desejados, G é a matriz de variâncias e covariâncias genéticas entre os caracteres, \hat{b} é o vetor $n \times 1$ de coeficientes do índice, e $\hat{\sigma}_I$ é a raiz quadrada da variância do índice. Como $\hat{\sigma}_I$ é escalar e não afeta a proporcionalidade do índice, ele pode ser desprezado, obtendo-se $\hat{b} = G^{-1}\Delta Gd$.

Assim, o índice seria estabelecido apenas com a definição do vetor de ganhos desejados e da matriz de variâncias e covariâncias genotípicas. Apesar de o referido método dispensar o estabelecimento dos pesos econômicos, estes podem ser estimados, posteriormente, pela expressão:

$$\hat{a} = G^{-1}P\hat{b}$$

em que \hat{a} é o vetor $n \times 1$ de pesos econômicos estimados e P é a matriz de variâncias e covariâncias fenotípicas entre os caracteres. Para a construção do índice de Pesek; Baker (1969) considerou-se como pesos econômicos o equivalente a um desvio-padrão genético para cada caráter, conforme sugestão de Crossbie et al. (1980) e Vieira (1988) e, em uma segunda situação, o mesmo procedimento, no entanto, considerando somente os caracteres produtividade de grãos e teores de cálcio e de ferro como de efeito principal.

No índice multiplicativo, proposto por Subandi et al., (1973) a determinação ocorre da seguinte maneira:

$$I_{Ei} = \log \prod_{j=1}^m (x_{ij} - k_j) = \log[(x_{i1} - k_1)(x_{i2} - k_2)...(x_{im} - k_n)]$$

em que I_{Ei} denota o índice multiplicativo, x_{ij} é a média do caráter j , mensurado no genótipo i , e k_j 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 genótipos, e mín. x_{ij} e máx. x_{ij} são, respectivamente, a menor e a maior médias do caráter j .

Para o índice baseado em soma de “ranks”, proposto por Mulamba; Mock (1978), cada linhagem recebe um número de classificação para cada caráter, adotando-se o critério de sempre utilizar número de classificação 1 para o melhor valor do respectivo caráter e, assim, sucessivamente. Desse modo, a linhagem com classificação 1 foi aquela com maiores médias

para os caracteres produtividade de grãos, AIV, cálcio, ferro e com os menores valores, para ACA, NG e ciclo. Após a obtenção dos números de classificação de cada genótipo, calculam-se seus índices da seguinte forma:

$I_j = \sum n_{ij}$, sendo:

I_j = índice para o genótipo j ;

n_{ij} = número de classificação do caráter i para o genótipo j .

Foram consideradas como melhores linhagens aquelas que apresentaram menores valores de I_j . Adotaram-se como pesos econômicos duas situações: pesos econômicos equivalentes a uma unidade para cada caráter e pesos econômicos equivalentes a uma unidade para os caracteres ACA, NG, ciclo, AIV e duas unidades para produtividade de grãos e teores de cálcio e de ferro.

O cálculo da percentagem de coincidência entre as linhagens selecionadas por dois índices foi obtido através da divisão do número de linhagens comuns selecionadas nos respectivos índices, dividido pelo número total de linhagens selecionadas (29 linhagens = 10% das linhagens avaliadas) e multiplicado por 100. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio dos aplicativos computacionais Office Excel e GENES (CRUZ, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos foram submetidos inicialmente a análise de variância pelo modelo látice simples para verificar a eficiência desse em relação ao modelo de blocos ao acaso. Foi constatada eficiência do modelo látice, acima de 100%, para todos os caracteres avaliados (Tabela 5). Dessa forma, para corrigir o efeito dos blocos, dentro de cada repetição, a análise de variância foi realizada em blocos ao acaso, utilizando, no entanto, os tratamentos ajustados e o erro efetivo do látice. Variabilidade genética significativa entre as linhagens para todas as variáveis estudadas foram observadas (Tabela 5), possibilitando a seleção de linhagens superiores entre os genótipos avaliados.

Variâncias genotípicas e fenotípicas são parâmetros importantes no melhoramento genético de plantas. Quanto maior for a proporção da variância genética na variância fenotípica, maior será a herdabilidade e, conseqüentemente, maior ganho na seleção poderá ser obtido, pois as variações fenotípicas observadas serão devido, principalmente, a fatores genéticos. Assim, maiores ganhos de seleção foram observados para os caracteres

produtividade de grãos, cálcio e acamamento, com herdabilidades estimadas em 77%, 67% e 60%, respectivamente (Tabela 5). Pelo fato das linhagens avaliadas estarem na geração F₇ apresentando, portanto elevada homozigose, as estimativas de herdabilidade obtidas podem ser consideradas de sentido restrito. Assim, estes valores estão acima daqueles normalmente observados na literatura para produtividade de grãos (RAMALHO et al., 1993; MORETO et al. 2007; TORGA et al. 2010) e semelhantes para o teor de cálcio em sementes de feijão (JOST et al., 2009a).

Tabela 5. Resumo da análise de variância para os caracteres produtividade de grãos (produtividade, kg ha⁻¹), acamamento (ACA), nota geral de adaptação (NG), ciclo, altura de inserção da primeira vagem (AIV), teor de cálcio nas sementes (cálcio, g kg⁻¹) e teor de ferro nas sementes (ferro, mg kg⁻¹) avaliados em 289 linhagens de feijão. Santa Maria (RS), UFSM, 2011

Causas de variação	Produtividade (kg ha ⁻¹)	ACA (¹)	NG (²)	Ciclo (dias)	AIV (cm)	Cálcio (g kg ⁻¹)	Ferro (mg kg ⁻¹)
QM Trat. (Ajustado)	637753,42*	3,44*	2,04*	24,39*	17,91*	0,12*	242,18*
Variância genotípica	246255,96	1,03	0,44	4,84	5,05	0,04	70,84
Variância fenotípica	318876,71	1,72	1,02	12,20	8,96	0,06	121,09
Herdabilidade (%)	77	60	43	40	56	67	59
CV experimental	32,77	20,52	18,71	5,10	16,50	13,99	12,10
CV genético	42,68	17,70	11,57	2,92	13,27	14,24	10,16
CVg/CVe	1,30	0,86	0,62	0,57	0,80	1,02	0,84
Média	1.163	5,73	5,75	75,25	16,93	1,40	82,83
Eficiência do látice	113,75	107,55	117,44	111,38	103,92	105,73	148,27

(*) Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

(¹) notas variando de 1 (plantas eretas) a 9 (plantas totalmente acamadas).

(²) notas variando de 1 (plantas adaptadas) a 9 (plantas sem adaptação).

Para a razão CVg/CVe foi obtido valores próximos ou superiores à unidade para os caracteres produtividade, ACA, AIV, cálcio e ferro (Tabela 5), indicando uma situação mais favorável à seleção para esses caracteres (CRUZ; REGAZZI, 1997). Os demais caracteres apresentaram valores inferiores à unidade, entretanto progresso genético é possível e deve ser considerado.

A média de produtividade de grãos das linhagens avaliadas foi de 1.163 kg ha⁻¹ (Tabela 5), valor abaixo da média verificada para o Estado do Rio Grande do Sul na safra agrícola 2010/2011, a qual foi de 1.341 kg ha⁻¹ (CONAB, 2011). Essa média de produtividade

de grãos, abaixo da expectativa, pode ser explicada pelo grande número de linhagens avaliadas, onde muitas delas não apresentaram adaptação às condições de cultivo.

Com relação às médias de acamamento (ACA) e de nota geral de adaptação (NG), quanto menor for a nota atribuída, melhor será o caráter avaliado. Valores de 5,73 para ACA e de 5,75 para NG (Tabela 5) foram observados, sendo estes valores considerados intermediários em uma escala que varia de 1 (caráter desejável) a 9 (caráter indesejável). Os valores de NG estão de acordo com os observados por Ribeiro et al. (2010), que obtiveram média geral de 5,54, avaliando 14 cultivares de feijão registradas para o cultivo no Estado do Rio Grande do Sul em nove diferentes ambientes.

O ciclo apresentou média de 75,25 dias (Tabela 5), estando esse valor situado entre ciclo precoce e intermediário. A maioria das cultivares de feijão em cultivo no Brasil apresenta ciclo intermediário, ou seja, aproximadamente 90 dias entre a emergência e a maturação (ZIMMERMANN et al., 1996). Para as condições de cultivo no Estado do Rio Grande do Sul é desejável cultivares de ciclo precoce, pois essa cultura normalmente antecede (safra) ou sucede (safrinha) a cultura do milho em áreas onde são realizados dois cultivos por safra agrícola.

Para a altura de inserção da primeira vagem, a média foi de 16,93 cm (Tabela 5), valor superior ao observado por Bertoldo et al. (2010), os quais obtiveram média de 16,30 cm, avaliando 22 acessos de feijão no Estado de Santa Catarina. Plantas com elevada altura de inserção da primeira vagem associadas a porte ereto são desejáveis, pois facilitam a colheita manual e mecanizada, além de preservar a qualidade das sementes pelo menor contato das vagens com o solo.

Os teores médios de cálcio e de ferro foram de 1,4 g kg⁻¹ de MS e de 82,83 mg kg⁻¹ de MS (Tabela 5). Esses valores foram similares aos teores de cálcio e superiores aos teores de ferro observados em 1031 genótipos pertencentes ao Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), na Colômbia (BEEBE et al., 2000). Avaliando gerações precoces de feijão, Jost et al. (2009a) e Jost et al. (2009b) observaram valores inferiores para cálcio e semelhantes para os teores de ferro, respectivamente.

Os coeficientes de correlação fenotípicos obtidos entre os caracteres avaliados são apresentados na Tabela 6. Essas informações podem fornecer uma orientação sobre a possibilidade de ganhos de seleção de forma indireta quando a seleção é praticada sobre um determinado caráter. Além disso, é também possível diagnosticar o grau de facilidade na seleção quando se deseja o melhoramento simultâneo de caracteres. Para atender aos propósitos desejados neste trabalho, correlação fenotípica positiva deve ser observada entre os

caracteres em que se objetiva aumentar a média dos caracteres (produtividade, AIIV, cálcio e ferro) e entre os caracteres que se objetiva diminuir a média dos caracteres (ACA, NG e ciclo) e correlação negativa entre os caracteres dos diferentes grupos (aumento e diminuição da média dos caracteres, respectivamente).

Tabela 6. Matriz de coeficientes de correlação fenotípica entre os caracteres produtividade de grãos (produtividade, kg ha⁻¹), acamamento (ACA), nota geral de adaptação (NG), ciclo, altura de inserção da primeira vagem (AIIV), teor de cálcio nas sementes (cálcio, g kg⁻¹) e teor de ferro nas sementes (ferro, mg kg⁻¹) avaliados em 289 linhagens de feijão. Santa Maria (RS), UFSM, 2011

	ACA	NG	Ciclo	AIIV	Cálcio	Ferro
Produtividade	0,00	-0,57*	-0,57*	-0,44*	-0,16*	-0,34*
ACA		0,54*	-0,11	0,10	-0,32*	0,01
NG			0,40*	0,39*	-0,11	0,29*
Ciclo				0,45*	0,16*	0,38*
AIIV					0,06	0,38*
Cálcio						0,18*

*Significativo pelo teste t, a 5% de probabilidade.

Os maiores valores de correlação foram observados entre produtividade de grãos x nota geral de adaptação ($r=-0,57$) e entre produtividade de grãos x ciclo ($r=-0,57$) (Tabela 6). Essas correlações apresentam sinal negativo, ou seja, desejável para a seleção, pois, para a produtividade de grãos, o objetivo é aumentar a média do caráter e para os caracteres nota geral de adaptação (quanto menor a nota, mais adaptado) e ciclo, o objetivo é diminuir a média. A produtividade de grãos ainda continua sendo o caráter de maior importância para o melhoramento genético do feijão, pois melhorias em outros caracteres somente se justificam se associadas a alta produtividade de grãos. Ribeiro et al. (2010), também, constataram correlação satisfatória entre produtividade de grãos e NG, concluindo que NG pode ser útil em trabalhos de seleção indireta que visam à melhoria da produtividade de grãos em feijão.

Correlação significativa e de sinal favorável foi observada entre nota geral de adaptação x acamamento ($r=0,54$). Correlações de sinal não desejável foram observadas entre produtividade de grãos e os caracteres AIIV, cálcio e ferro (Tabela 6). Gelin et al. (2007) avaliando 73 famílias F_{5,8}, também observaram correlação negativa entre produtividade de grãos e cálcio ($r=-0,21$), no entanto verificaram correlação positiva entre produtividade de grãos e ferro ($r=0,34$), sendo ambas de baixa magnitude. Devido as correlações no sentido não

desejável, dificuldades poderão ser encontradas na seleção de linhagens de feijão com maior produtividade de grãos associados a uma alta altura de inserção de primeira vagem e a elevados teores de cálcio e de ferro nas sementes.

Na Tabela 7 são apresentadas as estimativas das respostas diretas e indiretas à seleção, considerando o percentual de 10% das melhores linhagens selecionadas, o que corresponde as 29 melhores linhagens, considerando a seleção no sentido de acréscimo para os caracteres produtividade, AIV, cálcio e ferro e no sentido de decréscimo para ACA, NG e ciclo. A seleção direta e indireta não foram eficientes no sentido de proporcionar uma distribuição de ganhos equilibrada de acordo com os propósitos do trabalho. Quando a seleção direta foi realizada para a produtividade de grãos os caracteres AIV, cálcio e ferro apresentaram ganhos de seleção indiretos negativos (Tabela 7), contrário ao propósito da seleção, o mesmo ocorrendo para o caráter ACA, o qual obteve ganho positivo.

Tabela 7. Estimativas de ganhos diretos e de ganhos indiretos para os caracteres Produtividade de grãos (Prod., kg ha⁻¹), acamamento (ACA), nota geral de adaptação (NG), ciclo, altura de inserção da primeira vagem (AIV), teor de cálcio nas sementes (cálcio, g kg⁻¹) e teor de ferro nas sementes (ferro, mg kg⁻¹) obtidas pela seleção de 29 linhagens (10% de todas as linhagens) de feijão das 289 avaliadas. Santa Maria (RS), UFSM, 2011

Seleção em	Resposta esperada em (%)						
	Prod.	ACA	NG	Ciclo	AIV	Cálcio	Ferro
Prod.	72,26	4,27	26,02	28,51	-33,11	-18,56	-22,12
ACA	6,96	-26,84	-17,59	4,67	5,02	-9,32	-0,39
NG	-4,52	-9,68	-13,35	-4,33	7,08	-0,27	4,81
Ciclo	-1,45	0,36	-0,45	-2,71	1,64	1,03	1,54
AIV	-3,14	-1,36	-3,77	-7,24	21,12	1,87	7,21
Cálcio	-5,06	7,50	0,93	-2,77	-0,65	24,54	4,87
Ferro	-3,25	-0,16	-2,18	-4,41	7,46	3,36	16,35

Observando todos os caracteres (Tabela 7), em nenhuma situação de seleção direta foi atendido os propósitos de ganhos de seleção indiretos desejáveis nesse trabalho, fato explicado pelas correlações não favoráveis entre alguns caracteres, já mencionados anteriormente. Segundo Falconer (1987), a seleção indireta somente seria superior à seleção direta se o caráter secundário apresentasse herdabilidade substancialmente maior do que o caráter principal e se a intensidade de seleção no caráter secundário pudesse ser bem maior do

que no caráter principal e a correlação genética entre os dois fosse alta. Neste trabalho estas condições não foram atendidas, prejudicando a seleção indireta.

Torna-se evidente que o equilíbrio entre os caracteres sob seleção direta não foi obtido para esta população. Portanto, a seleção em *tandem*, ou seja, a seleção de um caráter por vez, acarretará em pouca eficiência no programa de melhoramento. Barbosa; Pinto (1998), avaliando a eficiência de índices de seleção na identificação de clones superiores de batata, e Vasconcelos et al. (2010), comparando diferentes critérios de seleção em alfafa, também concluíram que a seleção direta, apesar de proporcionar ganhos satisfatórios para o caráter em questão, não propicia ganhos satisfatórios de forma indireta para os demais caracteres. Nesses casos, é recomendável a utilização da teoria dos índices de seleção, numa tentativa de se obter respostas mais equilibradas nos ganhos, para os caracteres considerados.

Os resultados em termos de ganhos percentuais esperados, nos caracteres avaliados com a seleção praticada com diferentes índices de seleção e com diferentes pesos são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Estimativas de ganhos genéticos obtidos com a seleção combinada para os caracteres produtividade de grãos (prod., kg ha⁻¹), acamamento (ACA), nota geral de adaptação (NG), ciclo, altura de inserção da primeira vagem (AIV), teor de cálcio nas sementes (cálcio, g kg⁻¹) e teor de ferro nas sementes (ferro, mg kg⁻¹) obtidas pela seleção de 29 linhagens (10% de todas as linhagens) de feijão das 289 avaliadas. Santa Maria (RS), UFSM, 2011.

Índice	Ganho esperado (%) em							
	Prod.	ACA	NG	Ciclo	AIV	Cálcio	Ferro	Σ%ganhos [#]
Smith (1936); Hazel (1943) ¹	71,88	6,62	-4,62	-1,44	-4,21	-5,37	-2,41	59,33
Smith (1936); Hazel (1943) ²	39,05	-15,32	-7,62	-0,19	-1,74	8,29	1,64	70,37
Willians (1962) ³	27,45	-20,23	-9,56	-0,13	-0,03	10,17	2,60	70,11
Willians (1962) ⁴	23,16	-20,66	-9,84	-0,37	1,06	9,84	2,25	67,18
Elston (1963) ⁵	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pesek e Baker (1969) ⁶	18,01	-5,29	-7,88	-1,19	6,46	0,00	1,00	39,83
Pesek e Baker (1969) ⁷	18,65	-4,43	-0,61	0,36	1,85	10,23	11,06	46,47
Subandi et al. (1973)	30,23	-21,01	-10,55	-0,19	0,07	7,02	0,68	69,75
Mulamba e Mock (1978) ⁸	17,60	-16,55	-7,73	-0,45	2,83	9,60	3,63	58,39
Mulamba e Mock (1978) ⁹	17,49	-17,39	-6,76	-0,01	2,26	10,59	5,69	60,19

¹ pesos econômicos equivalentes a um coeficiente de variação genético para cada caráter.

² pesos econômicos proporcionais a um ganho de 10% em relação a média para cada caráter.

³ pesos econômicos equivalentes a um ganho de 10% em relação a média para cada caráter.

⁴ pesos econômicos equivalentes a um desvio padrão para cada caráter.

⁵ valores mínimos e máximos estabelecidos igual a média dos caracteres.

⁶ ganhos desejados iguais a um desvio padrão para cada caráter considerando todos de efeito principal.

⁷ ganhos desejados iguais a um desvio padrão para cada caráter considerando somente prod., cálcio e ferro como principais.

⁸ pesos econômicos equivalentes a uma unidade para cada caráter.

⁹ pesos econômicos equivalentes a uma unidade para os caracteres ACA, NG, ciclo, AIV e duas unidades para produtividade, cálcio e ferro.

[#] ganhos esperados com valores negativos para os caracteres ACA, NG e ciclo foram considerados como positivos no somatório.

O índice clássico de Smith (1936) e Hazel (1943), construídos com pesos econômicos iguais a um coeficiente de variação genético, conforme sugestão de Cruz (1990), não foi capaz de proporcionar distribuição de ganhos condizentes com os propósitos do trabalho, não sendo eficiente para esta população. Entretanto, quando os pesos econômicos utilizados foram proporcionais a um ganho de 10% em relação a média para cada caráter, foi obtido o maior somatório de ganhos (70,37%) entre os diferentes índices e pesos econômicos utilizados (Tabela 8). Nessa condição, a distribuição dos ganhos ficou mais equilibrada, com destaque para o ganho esperado com relação à produtividade de grãos (39,05%), teor de cálcio (8,29%) e teor de ferro (1,64%), no entanto ainda desfavorável para o caráter altura de inserção da primeira vagem, o qual apresentou ganho negativo de -1,74 %. Mesmo assim, esse índice, com os referidos pesos econômicos utilizados, merece atenção em aplicações futuras devido a seus resultados promissores. Barbosa; Pinto (1998) aplicando esse índice na seleção de clones de batata, também, consideraram o mesmo satisfatório. Entretanto, Santos; Araujo (2001), apesar de obterem ganhos desejáveis em feijão caupi (*Vigna unguiculata*) para alguns caracteres avaliados, colocam que a distribuição dos ganhos não foi uniforme para todos os caracteres, além de mencionarem a necessidade de utilização de diversos pesos econômicos diferentes para a construção de índices mais satisfatórios, tornando difícil e trabalhosa a aplicação do índice de Smith (1936) e Hazel (1943).

O índice base proposto por Willians (1962), também, pode ser considerado promissor, tanto com a utilização de pesos econômicos equivalente a um ganho de 10% em relação a média ou equivalente a um desvio padrão para cada caráter. O valor do somatório de ganhos foi o segundo (70,11%) e o quarto (67,18%) maiores, respectivamente (Tabela 8). Além disso, a distribuição dos ganhos ficou bem equilibrada, exceção feita apenas para A1V com pesos econômicos equivalentes a ganhos de 10% em relação a média, onde ganho insatisfatório foi observado (-0,03). Em clones de batata, Barbosa; Pinto (1998), também, observaram que a utilização do índice base foi favorável quando utilizaram-se pesos econômicos correspondentes a um desvio padrão genético. A melhor resposta desse índice pode ser explicada pela não utilização das matrizes de covariâncias fenotípicas e genotípicas na seleção, as quais podem interferir nos resultados devido as suas imprecisões (CRUZ; REGAZZI, 1997).

Para o índice livre de pesos e de parâmetros proposto por Elston (1963), nenhuma linhagem foi selecionada, com os valores mínimos e máximos estabelecidos iguais a média dos caracteres. Neste índice, primeiro são selecionadas as linhagens desejáveis com valores

superiores ou inferiores aos valores mínimos e máximos estabelecidos, respectivamente, para cada caráter. Na sequência, somente as linhagens comuns selecionadas nos diferentes caracteres são selecionadas e ordenadas de acordo com seus respectivos valores. Neste trabalho nenhuma linhagem atendeu a segunda condição, ou seja, estar entre as linhagens comuns selecionadas nos diferentes caracteres avaliados. Santos; Araujo (2001) obtiveram número de genótipos selecionados reduzido quando utilizaram o índice de Elston (1963) na seleção de genótipos de feijão caupi (*Vigna unguiculata*), o que pode demonstrar uma certa limitação desse índice.

Para o índice baseado nos ganhos desejados (PESEK; BAKER, 1969), os resultados de somatório de ganhos foram baixos entre os métodos, quando se utilizaram ganhos desejados iguais a um desvio padrão (39,83%) e quando os ganhos desejados foram iguais a um desvio padrão para cada caráter, considerando as variáveis produtividade de grãos, cálcio e ferro como principais (46,47%) (Tabela 8). Esse índice, além das imprecisões das covariâncias fenotípicas e genotípicas utilizadas, tem o inconveniente de necessitar que sejam estabelecidos ganhos desejáveis por parte do melhorista, o que pode dificultar a sua utilização (CRUZ; REGAZZI, 1997). Mesmo seguindo a orientação de utilizar ganhos desejados equivalentes a um desvio padrão genético para cada caráter, sugestão proposta por Crossbie et al. (1980) e Vieira (1988), os resultados não foram satisfatórios.

Já o índice multiplicativo proposto por Subandi et al. (1973) pode ser considerado promissor, pois apresentou o terceiro maior somatório de ganhos (69,75%), apresentando distribuição satisfatória entre os caracteres, principalmente para produtividade de grãos (30,23%) e para cálcio (7,02%) (Tabela 8). Uma vantagem desse índice é que não é necessário estabelecer pesos econômicos ou ganhos desejáveis, facilitando assim o trabalho do melhorista.

O índice baseado em soma de “ranks” (MULAMBA; MOCK, 1978) apresentou ganhos bem distribuídos, tanto na situação onde os pesos econômicos foram iguais a uma unidade e quando os caracteres produtividade de grãos, cálcio e ferro tiveram pesos equivalentes a duas unidades (Tabela 8). No entanto, no somatório de ganhos esse índice não apresentou um bom desempenho, sendo a sua utilização comprometida. Esse resultado é contrário ao observado na avaliação de clones de batata (BARBOSA; PINTO, 1998), de populações segregantes de soja (COSTA et al., 2004), de genótipos de feijão caupi (BERTINI et al., 2010) e de genótipos de alfafa (VASCONCELOS et al., 2010), onde o índice baseado na soma de “ranks” foi considerado o mais ou um dos mais adequados na seleção simultânea.

Com base em comparações feitas entre as linhagens selecionadas, maior percentagem de coincidência (89,7%) foi observada entre as linhagens selecionadas no índice base (WILLIANS, 1962), utilizando pesos econômicos equivalentes a um ganho de 10% em relação a média para cada caráter e pesos econômicos equivalentes a um desvio padrão para cada caráter (Tabela 9), o que demonstra não haver muita diferença nestas duas situações de seleção. Elevado índice de coincidência (82,8%) também foi observado entre o índice multiplicativo (SUBANDI et al., 1973) e o índice base (WILLIANS, 1962) nas duas situações de seleção (pesos econômicos equivalentes a um ganho de 10% em relação a média e pesos econômicos equivalentes a um desvio padrão para cada caráter) (Tabela 9).

Constatou-se que, o índice clássico de Smith (1936); Hazel, (1943) (pesos econômicos proporcionais a um ganho de 10% em relação a média para cada caráter) apresenta elevada percentagem de coincidência na seleção de linhagens quando comparado aos índices base (WILLIANS, 1962) (82,8% e 72,4% para pesos econômicos iguais ao desvio padrão e pesos proporcionais a ganhos de 10% em relação a média, respectivamente) e o índice de Subundi et al. (1973) (72,4%) (Tabela 9). Desta forma, as linhagens de feijão selecionadas por esses índices são semelhantes, o que afirma a superioridade destes na seleção de linhagens de feijão para os caracteres avaliados.

Tabela 9. Percentagem de coincidência de linhagens selecionadas pelos índices clássico de Smith (1936); Hazel, (1943) (SH), índice baseado nos ganhos desejados (PESEK; BAKER, 1969) (PB), índice base (WILLIANS, 1962) (Wi), índice baseado em soma de “ranks” (MULAMBA; MOCK, 1978) (MM), índice multiplicativo (SUBANDI et al., 1973) (Su). Santa Maria (RS), UFSM, 2011

	SH ²	PB ³	PB ⁴	Wi ⁵	Wi ⁶	MM ⁷	MM ⁸	Su
SH ¹	34,5	17,2	31,0	20,7	17,2	10,3	13,8	17,2
SH ²		20,7	44,8	82,8	72,4	58,6	69,0	72,4
PB ³			10,3	34,5	44,8	48,3	31,0	34,5
PB ⁴				44,8	37,9	34,5	48,3	34,5
Wi ⁵					89,7	65,5	75,9	82,8
Wi ⁶						75,9	75,9	82,8
MM ⁷							79,3	65,5
MM ⁸								69,0

¹ pesos econômicos equivalentes a um coeficiente de variação genético para cada caráter.

² pesos econômicos proporcionais a um ganho de 10% em relação a média para cada caráter.

³ ganhos desejados iguais a um desvio padrão para cada caráter considerando todas as variáveis de efeito principal.

⁴ ganhos desejados iguais a um desvio padrão para cada caráter considerando as variáveis produtividade, cálcio e ferro como principais.

⁵ pesos econômicos equivalentes a um ganho de 10% em relação a média para cada caráter.

⁶ pesos econômicos equivalentes a um desvio padrão para cada caráter.

⁷ pesos econômicos equivalentes a uma unidade para cada caráter.

⁸ pesos econômicos equivalentes a uma unidade para as caracteres ACA, NG, ciclo, AIV e duas unidades para produtividade, cálcio e ferro.

Cabe ressaltar que, usando as diferentes combinações de pesos econômicos e ganhos desejados nos diferentes índices de seleção, em nenhuma situação foram selecionadas as cultivares registradas para o cultivo (testemunhas), demonstrando que ganhos satisfatórios poderão ser obtidos se comparado as testemunhas utilizadas neste trabalho.

CONCLUSÕES

Existe variabilidade genética para os caracteres produtividade de grãos, acamamento, nota geral, ciclo, altura de inserção da primeira vagem, teor de cálcio nas sementes e teor de ferro nas sementes possibilitando a seleção de linhagens superiores.

Correlações desfavoráveis ao interesse do melhoramento genético do feijão entre os caracteres produtividade de grãos e altura de inserção da primeira vagem, teores de cálcio nas sementes e teores de ferro nas sementes, podem dificultar a seleção simultânea para esses caracteres.

O índice clássico (SMITH, 1936; HAZEL, 1943), o índice base (WILLIAMS, 1962) e o índice multiplicativo (SUBANDI et al., 1973) propiciam progresso genético superior em linhagens de feijão apresentando elevada coincidência entre as linhagens selecionadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conhecimento da resposta dos caracteres agronômicos e nutricionais frente a diferentes métodos de condução de populações segregantes e a diferentes índices de seleção é importante na obtenção de linhagens superiores de feijão, pois apresentam respostas diferenciadas.

Os resultados deste trabalho mostraram que, na média, o método Genealógico foi mais eficiente que o método SSD na identificação de famílias com maior produtividade de grãos, menor ciclo e melhor adaptação, obtendo maior frequência de genótipos superiores. No entanto, a linhagem com maior produtividade de grãos foi identificada no método SSD, o que demonstrou, que mesmo não havendo seleção para o caráter de interesse, esse método preservou uma elevada variabilidade genética nas gerações avançadas, proporcionando sucesso na seleção. Para os teores de cálcio e de ferro nas sementes de feijão, o método SSD também se destacou, apresentando maior teor médio, maior número de famílias com os teores mais elevados e maior variabilidade genética. Esse método, também, foi eficiente na seleção de maior número de famílias com as menores notas de acamamento (porte ereto) e as maiores alturas de inserção de primeira vagem.

A seleção direta não foi eficiente na seleção para mais de um caráter, pois os ganhos por seleção indireta não foram de acordo com os propósitos do trabalho. Isso é esperado quando ocorrem correlações não desejáveis entre os caracteres a serem selecionados, fato que foi constatado entre alguns caracteres. Com relação a aplicação dos índices na seleção simultânea de caracteres, o índice clássico (SMITH, 1936; HAZEL, 1943), o índice base (WILLIAMS, 1962) e o índice multiplicativo (SUBANDI et al., 1973) apresentaram respostas superiores e mais equilibradas em relação aos demais índices avaliados.

Desenvolver cultivares de feijão com elevada produtividade de grãos associada a caracteres morfológicos e fenológicos desejáveis e com elevada qualidade nutricional é necessidade presente nos programas de melhoramento genético. Desta forma, é desejável que um método de condução de populações segregantes preserve a maior variabilidade genética possível até as gerações avançadas, onde será possível realizar ensaios com repetições, aumentando a precisão experimental na identificação de cultivares superiores. Além disso, há a necessidade de utilizar um índice de seleção que seja eficiente na identificação de linhagens, com ganhos elevados e bem distribuídos em função dos objetivos do melhoramento genético para a espécie.

Assim, o método SSD demonstrou ser vantajoso na seleção de caracteres agronômicos e nutricionais em sementes de feijão, pois foi efetivo na conservação da variabilidade genética e apresentou simplicidade e rapidez na condução das famílias à homozigose e os índices clássico (SMITH, 1936; HAZEL, 1943), base (WILLIAMS, 1962) e multiplicativo (SUBANDI et al., 1973) são vantajosos com ganhos genéticos promissores e bem distribuídos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOSTA-GALLEGOS, J.A.; KELLY, J.D.; GEPTS, P. Prebreeding in common bean and use of genetic diversity from wild germplasm. **Crop Science**, Madison, v. 47, n. 3, p. 44-59, 2007.
- AGUIAR, A. M.; RAMALHO, M. A. P.; SOUZA, E. A. Comparação entre látice e blocos aumentados na avaliação de famílias segregantes em um programa de melhoramento do feijoeiro. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 4, p. 857-860, 2000.
- AKOND, A. S. M. G. M. et al. Minerals (Zn, Fe, Ca and Mg) and antinutrient (phytic acid) constituents in common bean. **American Journal of Food Technology**, Nova York, v. 6, n. 3, p. 235-243, 2011.
- ARAÚJO, R. de. et al. Genotype x environment interation effects on the iron content of common bean grains. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 3, n. 4, p. 269-274, 2003.
- 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**, Braking, v. 47, n. 2, p. 159-167, 1993.
- BARBOSA, M. H. P.; PINTO, C. A. B. P. Eficiência de índices de seleção na identificação de clones superiores de batata. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 2, p. 149-156, 1998.
- BEEBE, S.; GONZALEZ, A. V.; RENGIFO, J. Research on trace minerals in the common bean. **Food and Nutrition Bulletin**, Boston, v. 21, n. 4, p. 387-391, 2000.
- BERTINI, C. H. C. M. et al. Análise multivariada e índice de seleção na identificação de genótipos superiores de feijão-caupi. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 32, n. 4, p. 613-619, 2010.
- BERTOLDO, J. G. et al. Genetic gain in agronomic traits of common bean in the region of Planalto Catarinense. **Euphytica**, Wageningen, v. 171, n. 3, p. 381-388, 2010.

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

BORÉM, A.; VIEIRA, G. **Melhoramento de plantas**. 5. ed. Viçosa: UFV, 2009. 1 v., 529 p.

BRIGIDE, P. **Disponibilidade de ferro em grãos de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) irradiados**. 2002. 58 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.

BRIM, C. A. A modified pedigree method of selection in soybeans. **Crop Science**, Madison, v. 6, n. 2, p. 220, 1966.

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.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, nono levantamento, junho 2011**. Brasília : Conab, 2011. 47 p. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 20 jul. 2011.

COSTA, J. G. C.; RAVA, C. A.; ZIMMERMANN, F. J. P. Comparação da eficiência de métodos de seleção em gerações segregantes de feijoeiro-comum considerando a resistência à antracnose e o rendimento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 2, p. 244-251, 2002.

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, 2004.

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

CROSBIE, T. M.; MOCK, J. J.; SMITH, O. S. Comparison of gains predicted by several methods for cold tolerance traits of two maize populations. **Crop Science**, Madison, v. 20, n. 5, p. 649-655, 1980.

CRUZ, C. D. **Aplicação de algumas técnicas multivariadas 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. **Programa Genes**: biometria. Viçosa: UFV, 2006. 382p.

CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2003. v.2. 585p.

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

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2004. v.1. 480p.

DESTRO, D.; MONTÁLVAN, R. **Melhoramento genético de plantas**. Londrina: UEL, 1999. 820 p.

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

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

FALCONER, D.S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa, MG: UFV, 1987. 279p.

FAO. Undernourishment around the world: counting the hungry: latest estimates. FAO. Disponível em:

<http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?Url_file=/docrep/006/j0083e/j0083e00.htm>.

Acesso em: 26 agosto de 2011.

GELIN, J. R. et al. Analysis of seed zinc and other minerals in a recombinant inbred population of navy bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Crop Science**, Madison, v. 47, n. 4, p. 1361- 1366, 2007.

GONÇALVES, F. M. A.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Natural selection in four common bean traits. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 1, n. 3, p. 213-220, 2001.

GUZMÁN-MALDONADO, S.H., et al. Putative quantitative trait loci for physical and chemical components of common bean. **Crop Science**, Madison, v. 43, n. 3, p. 1029-1035, 2003.

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

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

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

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

LÚCIO, A. D.; STORCK, L.; BANZATTO, D. A. Classificação dos experimentos de competição de cultivares quanto a sua precisão. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 99-103, 1999.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Zoneamento agrícola de risco climático: cultivares de feijão – ano – safra 2009/2010**. Brasília: MAPA, 2010. 7p. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 25 nov. 2010.

MENDES, F. M.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Índice de seleção para escolha de populações segregantes em feijoeiro-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 10, n. 4, p. 1312-1318, 2009.

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

MIGLIORANZA, E. et al. Teor de cálcio em frutos de diferentes cultivares de feijão-vagem. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 2, p. 158-161, 2003.

MILLER, D. D. Minerales. In: FENNEMA, O. R. **Química de los alimentos**. 2. ed. Zaragoza: Acribia, 2000. 1087 p.

- MIYAZAWA, M. et al. 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.
- MOOSE, S. P.; MUMM, R. H. Molecular plant breeding as the foundation for 21st Century crop improvement. **Plant Physiology**, Illinois, v. 147, n. 3, p. 969-977, 2008.
- MORETO, A. L. et al. Estimação dos componentes da variância fenotípica em feijoeiro utilizando o método genealógico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1035-1042, 2007.
- 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 Genetic Cytology**, Alexandria, v. 7, n. 1, p. 40-51, 1978.
- PESEK, J.; BAKER, R. J. Desired improvement in relation to selected indices. **Canadian Journal Plant Science**, Ottawa, v. 49, n. 6, p. 803-804, 1969.
- PETERNELLI, L. A.; BORÉM, A.; CARNEIRO, J. E. S. Hibridação em Feijão. In: BORÉM, A. **Hibridação artificial de plantas**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2009. p. 320-348.
- QUINTANA, J. M. et al. Variation in calcium concentration among sixth S₁ families and four cultivars of snap bean (*Phaseolus vulgaris L.*). **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 121, n. 5, p. 789-793, 1996.
- QUINTANA, J. M. et al. Comparison of pod calcium concentration between two snap bean populations. **Journal of American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 124, n. 3, p. 273-276, 1999.
- RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. Lavras: UFLA, 2000. 326 p.
- RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos; ZIMMERMANN, M. J. de O. **Genética quantitativa em plantas autógamas**: aplicações ao melhoramento do feijoeiro. Goiânia: UFG, 1993. 271 p.
- RAPOSO, F. V.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B. Comparação de métodos de condução de populações segregantes do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 10, p. 1991-1997, 2000.

RIBEIRO, N. D. et al. Critério de seleção indireta para a produtividade de grãos em feijão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 4, p. 986-989, 2010.

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

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

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

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

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

TALUKDER, Z.I. et al. Genetic diversity and selection of genotypes to enhance Zn and Fe content in common bean. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 90, n. 1, p.49-60, 2010

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. 1, p. 95-100, 2010.

TORRES, J. P.; SILVA JUNIOR, T. A. F.; MARINGONI, A. C. Detecção de *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* em sementes de feijoeiro provenientes do estado do Paraná, Brasil. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 35, n. 2, p. 136-139, 2009.

URREA, C. A.; SINGH, S. P. Comparison of mass, F₂-derived family, and single-seed-descent selection methods in an interracial population of common bean. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 74, n. 3, p. 461-464, 1994.

VAN VLECK, L. D. **Selection index and introduction to mixed model methods for genetic improvement of animals**. Boca Raton: CCR Press, 1993. 481 p.

VASCONCELOS, E. S. et al. Estimativas de ganho genético por diferentes critérios de seleção em genótipos de alfafa. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 2, p. 205-210, 2010.

VIEIRA, J.V. **Herdabilidades, Correlações e Índice de Seleção em População de Cenoura (*Daucus carota L.*)**. 1988. 86 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, 1988.

WHITE, T. L.; HODGE, G. R. **Predicting breeding values**: with applications in forest tree improvement. London: Kluwer Academic Publishers, 1989. 367 p.

WILLIAMS, J. S. The evaluation of a selection index. **Biometrics**, North Carolina, v. 18, n. 3, p. 375-393, 1962.

ZIMMERMANN, M. J. O. et al. Melhoramento genético e cultivares. In: ARAUJO, S. R. et al.(Eds.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: POTAFOS, 1996. p. 223-273.

APÊNDICE

Apêndice 1 – Tipo de grão, Programa de Melhoramento obtentor/mantenedor da cultivar (origem), genealogia e hábito de crescimento (HC) das cultivares de feijão utilizadas como parentais para os estudos da genética dos teores de cálcio e de ferro em sementes de feijão. Santa Maria – RS, UFSM, 2011

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

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

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

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