

FRANCISCO CHARLES DOS SANTOS SILVA

**REDE DE CORRELAÇÕES, EFICIÊNCIA DA SELEÇÃO VISUAL E
INDIRETA VIA CAPACIDADE DE RAMIFICAÇÃO E ÍNDICES DE
SELEÇÃO EM SOJA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2017

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

S586r
2017 Silva, Francisco Charles dos Santos, 1990-
Rede de correlações, eficiência da seleção visual e indireta
via capacidade de ramificação e índices de seleção em soja /
Francisco Charles dos Santos Silva. – Viçosa, MG, 2017.
xiv, 76f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Tuneo Sedyama.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. *Glycine max* (L.) Merrill. 2. Soja - Melhoramento
genético. 3. Seleção de plantas - Melhoramento genético.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia.
Programa de Pós-graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22 ed. 633.342

FRANCISCO CHARLES DOS SANTOS SILVA

**REDE DE CORRELAÇÕES, EFICIÊNCIA DA SELEÇÃO VISUAL E
INDIRETA VIA CAPACIDADE DE RAMIFICAÇÃO E ÍNDICES DE
SELEÇÃO EM SOJA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 09 de fevereiro de 2017.

Rogério Faria Vieira

Fernando França da Cunha

Aluizio Borém de Oliveira

Thais Roseli Corrêa

Tuneo Sedyama
(Orientador)

*“Você deve aproveitar os pequenos
desvios em seu caminho ao máximo porque é
onde encontrará as coisas mais importantes
do que aquilo que realmente deseja”*

Ging Freecs

A DEUS e aos meus GRANDES MESTRES

Professor Tuneo Sedyama

Por não ser apenas meu mestre no melhoramento da soja, mais sim um grande amigo. Amigo que por inúmeras vezes recorri para pedir conselhos, amigo que com exemplo, me mostrou o valor da disciplina no trabalho, a importância do respeito ao próximo, e o poder da persistência da cortesia e humildade.

Professor Raimundo Macatrão

Por ter me aberto as portas da universidade, provando que um homem não é feito apenas de livros mais também de oportunidades.

Professora Maria da Cruz

Por me mostrar como deve ser uma pessoa dedicada e generosa com o próximo.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, por sempre ter me dado força de vontade, alegria e a presença de pessoas boas.

Aos meus pais, Francisco Nascimento da Silva e Rosa Paz Costa dos Santos, pelo amor, pelos conselhos e por sempre me terem acreditado nas minhas escolhas.

Aos meus irmãos Fernando, Ana e Tiago, por que também e por vocês que eu me esforço e é pensando em vocês que continuo.

Ao meu avô Benedito pelo exemplo, de homem, de luta e coragem.

À minha namorada Fabíola, pelo amor, carinho, dedicação, preocupação e por me acompanhar ao longo desse caminho, sempre me dando motivação.

Aos meus grandes amigos: Jessé, Júlio, Alberto, Juscelino, Welder, Elimarcos, Cledesom, Charles, Edvaldo, Luciano, Robson e Devão pela grande fase da minha vida que foi o curso de agronomia.

Aos amigos e companheiros da pós graduação da Soja: Amilton, André, Daniele, Danúbia e Waggner pela ajuda, apoio e amizade, descontração e risos.

Aos amigos do Laboratório da Soja: Alisom, Stenio, Guilherme, Bruno, Murilo, Augustos, Marta, Rosângela, Heloisa, Aroldo, Isabela e Bernadino pela amizade e pelo bom convívio.

Aos amigos estagiários que tanto contribuíram para a realização deste trabalho: João Pedro, Gustavo Lima, Rodrigo, Higor, Thiago, Sandro, Cherigat, Luiz Renato, Lucas, Joana, Yuri.

Ao Professor Felipe pela amizade, pelo apoio, pelo auxílio e pelas ideias de análises e interpretações dos dados.

Ao Professor Cosme pela paciência, atenção e ajuda nas análises estatísticas .

Aos amigos do Laboratório de Hidráulica.

À Fapemig pela concessão da bolsa de estudos.

A todos aqueles que contribuíram direta e indiretamente para a condução e finalização desse trabalho.

OBRIGADO

BIOGRAFIA

FRANCISCO CHARLES DOS SANTOS SILVA, filho de Francisco Nascimento da Silva e Rosa Paz Costa dos Santos, nasceu em 24 de abril de 1990, em Brejo, estado do Maranhão, Brasil.

Em julho de 2011, graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal do Maranhão, Campus Chapadinha, MA. Onde iniciou seus estudos com melhoramento de grandes culturas.

Em agosto de 2011, ingressou no programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, em nível de Mestrado, na Universidade Federal de Viçosa, sob orientação do Prof. Dr. Ph.D. Tuneo Sedyama, onde trabalhou com melhoramento de soja, submetendo-se à defesa da dissertação em março de 2013.

Em março de 2013 iniciou o curso de doutorado em Fitotecnia na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, sob a orientação do Prof. Dr. Ph.D. Tuneo Sedyama, submetendo-se à defesa de tese em 27 de janeiro de 2017.

SUMÁRIO

RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	xii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	4
CAPÍTULO 1 - ANÁLISE DE REDES DE CORRELAÇÕES GENOTÍPICAS ENTRE CARACTERÍSTICAS DE SOJA.....	6
RESUMO.....	6
ABSTRACT.....	7
INTRODUÇÃO.....	9
MATERIAL E MÉTODOS.....	10
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
CONCLUSÕES.....	18
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	19
CAPÍTULO 2 - EFICIÊNCIA DA SELEÇÃO VISUAL DE CARACTERES AGRONÔMICOS PARA PRODUÇÃO DE SOJA SOB EM AMBIENTE PROTEGIDO.....	21
RESUMO.....	21
ABSTRACT.....	22
MATERIAL E MÉTODOS.....	24
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
CONCLUSÕES.....	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35
CAPÍTULO 3 - SELEÇÃO INDIRETA PARA RENDIMENTO DE GRÃOS EM SOJA VIA CAPACIDADE DE RAMIFICAÇÃO.....	39
RESUMO.....	39

ABSTRACT.....	40
INTRODUÇÃO	41
MATERIAL E MÉTODOS	43
CONCLUSÕES	53
REFERÊNCIAS.....	54
CAPITULO 4 - EFICIÊNCIA DE TÉCNICAS DE SELEÇÃO SIMULTÂNEA DE CARACTERES AGRONÔMICOS EM POPULAÇÕES SEGREGANTES DE SOJA.....	56
RESUMO.....	56
ABSTRACT.....	57
INTRODUÇÃO	58
MATERIAL E MÉTODOS	60
RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
CONCLUSÕES	74
REFERÊNCIAS.....	75

RESUMO

SILVA, Francisco Charles dos Santos. D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2017. **Rede de correlações, eficiência da seleção visual e indireta via capacidade de ramificação e índices de seleção em soja.** Orientador: Tuneo Sedyama. Coorientadores: Cosme Damião Cruz e Felipe Lopes da Silva.

A produtividade média da soja no Brasil encontra-se estagnada desde a última década devido a diversos fatores como: a ocorrência da ferrugem asiática, a elevada pressão nematoide e principalmente a utilização de cultivares mais precoces. Uma das maneiras de solucionar esse problema seria a obtenção de cultivares que atendessem às exigências agrícolas vigentes e que fossem mais produtivas. A busca por genótipos superiores de soja é feita a partir da seleção dentro de populações geradas por combinações híbridas. Diferentes técnicas de associação entre caracteres, bem como diferentes metodologias de seleção tem sido exploradas no melhoramento da soja. Todavia, para vencer a estagnação do crescimento da produtividade da soja no Brasil, novas propostas de apresentação de dados, melhorias de técnicas tradicionais de seleção, bem como novos procedimentos de triagem devem ser desenvolvidos. Nesse sentido, objetivou-se com a realização destes estudos: I - Determinar as correlações genotípicas entre caracteres morfoagronômicas de soja por meio de redes de correlações, determinar estruturas de ligação entre essas características e assim verificar a viabilidade do uso de rede de correlações no melhoramento de soja. II- Avaliar a eficiência da seleção visual em soja sob condições de ambiente uniforme, determinar se a habilidade de um avaliador para selecionar visualmente depende de sua experiência com a cultura e, estudar a eficiência da seleção visual de caracteres associados à produtividade para obtenção de ganhos em rendimento. III - Estimar parâmetros genéticos para a capacidade de ramificação na soja, medir a eficiência da seleção de genótipos mais ramificados na busca de materiais mais produtivos e verificar a influência dessa seleção em outras características de importância

agronômica. IV - Avaliar dois novos índices de seleção e o índice de seleção visual, comparar a eficiência relativa desses com índices já utilizados, determinando os métodos superiores e mais similares, examinar a possibilidade do uso do peso econômico (w_i) na obtenção de genótipos de soja mais promissores e verificar a real eficiência desses processos seletivos por meio do ganho realizado. No primeiro estudo, em que se avaliou a viabilidade do uso da técnica de rede de correlações em soja, conclui-se que, nenhuma das variáveis analisadas mostrou-se importante para o melhoramento da produção de grãos por planta. No conjunto gênico avaliado foi identificado um grupo de características correlacionadas genotipicamente, composto por variáveis mensuradas em plantas adultas e variáveis relacionadas à altura. A técnica de rede de correlações se mostrou eficiente, podendo ser utilizada na tomada de decisões em programas de melhoramento de soja. No segundo trabalho, que procurava determinar a eficiência da seleção visual de caracteres de soja em condições de ambiente protegido pôde-se concluir que, os selecionadores avaliados diferem-se na sua habilidade de identificar visualmente plantas mais produtivas, todavia, essa diferença não está associada à experiência com a cultura. Em condições de uniformidade das condições experimentais e variabilidade genética satisfatória o número de vagens por planta de soja é a característica que mais auxilia a seleção visual, na busca por indivíduos mais produtivos. No terceiro trabalho, que visava determinar a eficiência da seleção indireta para rendimento de grãos em soja via capacidade de ramificação conclui-se que existe variabilidade genética para capacidade de emissão de ramos laterais em soja. Nas populações de soja analisadas, a seleção para aumentar o número de hastes laterais resulta em genótipos de ciclo mais longo. No conjunto gênico avaliado, a seleção de genótipos de soja visando elevar o número de ramificação auxilia na busca por materiais mais produtivos, não sendo eficiente, entretanto, em genótipos de hábito de crescimento horizontal. Por fim, no quarto trabalho, que buscava determinar a eficiência de técnicas de seleção simultânea de caracteres agronômicos em populações segregantes de soja, conclui-se que o índice 2 proposto nesse trabalho e o índice de Mulamba e Mock (1978) foram os que forneceram maiores ganhos preditos totais. A seleção visual não foi adequada em nenhuma das populações

analisadas neste trabalho. A similaridade e a divergência entre os índices de seleção dependem da situação de seleção. O índice 1 proposto nesse trabalho foi adequado em todas as populações, porém com ganhos totais sempre inferiores aos do índice 2 e aos do índice de Mulamba e Mock. O peso econômico (w_i), proposto por Viana e Resende, pelos critérios adotados nesse trabalho, não se mostrou adequado em situações onde o caráter objetivo do melhoramento não possuía correlações genotípicas positivas com as demais. A quantificação precisa da eficiência real dos processos seletivos foi inviabilizada devido a variação das condições ambientais entre o ambiente de seleção e o ambiente de condução da geração mais avançada.

ABSTRACT

SILVA, Francisco Charles dos Santos. D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2017. **Network of correlations, efficiency of visual and indirect selection through branch capacity and selection indexes in soybean.** Adviser: Tuneo Sedyama. Co-advisers: Cosme Damião Cruz and Felipe Lopes da Silva.

The average yield of soybeans has been stagnant since the last decade due to several factors such as: the entrance of Asian rust, the high nematode pressure and especially the use of earlier cultivars. One of the ways to solve the problem would be to obtain cultivars that would meet the current and more productive agricultural requirements. The search for superior soybean genotypes is made from the selection within populations generated by water combinations. Different techniques of association between characters as well as different selection methodologies have been explored in soybean breeding. However, in order to overcome the stanchion of soybean productivity growth in Brazil, new proposals for data presentation, improvements in traditional selection techniques, and new screening procedures should be developed. In this sense, we aimed to carry out these studies: I - To determine the genotypic correlations among morphoagronomic characters of soybean by means of correlation networks, to determine linking structures among these characteristics and thus to verify the viability of the use of network of correlations in the breeding Of soy. II - Evaluate the efficiency of visual selection in soybean under conditions of uniform environment, determine if the ability of an evaluator to select visually depends on their experience with the crop and study the efficiency of visual selection of characters associated with productivity to obtain gains In yield. III - To estimate genetic parameters for the branching capacity in soybean, to measure the efficiency of the selection of more branched genotypes in the search of more productive materials and to verify the influence of this selection on other characteristics of agronomic importance. IV - Evaluate two new selection indices and the visual selection index, to compare the relative efficiency of these with

already used indexes, determining the superior and more similar methods, to examine the feasibility of the use of the economic weight (w_i) in obtaining soybean genotypes. More promising and to verify the real efficiency of these selective processes through the realized gain. For the first study, which evaluated the feasibility of using the soybean correlation network technique, it was concluded that none of the analyzed variables were important for the improvement of grain yield per plant. A group of genotyped correlated characteristics was identified in the genotype group, composed of variables measured in adult plants and height - related variables. The correlation network technique was efficient and can be used in decision making in soybean breeding programs. In the second work that aimed to determine the efficiency of the visual selection of soybean characters under protected environment conditions, it can be concluded that the evaluated selectors differ in their ability to visually identify more productive plants, however, this difference is not associated with Experience with culture. Under conditions of uniformity of experimental conditions and satisfactory genetic variability, the number of pods per soybean plant is the characteristic that most assists visual selection in the search for more productive individuals. In the third work that aimed to determine the efficiency of the indirect selection for grain yield in soybean via branching ability, it can be concluded that there is genetic variability for the lateral branch emission capacity in soybean. In the soybean populations analyzed, selection to increase the number of lateral stems results in longer cycle genotypes. In the evaluated genotype, the selection of soybean genotypes aiming to increase the number of branches helps in the search for more productive materials, but is not efficient, however, in genotypes with a horizontal growth habit. Finally, in the fourth study, which sought to determine the efficiency of simultaneous selection techniques for agronomic traits in soybean segregating populations, it was concluded that the index 2 proposed in this study and that of Mulamba and Mock (1978) Total predicted gains. The visual selection was not adequate in any of the populations analyzed in this study. The similarity and divergence between selection indices depends on the selection situation. The index 1 proposed in this study was adequate in all populations, but with total gains always lower than those in index 2 and those in the Mulamba and Mock index

(1978). The economic weight (w_i), proposed by Viana and Resende (2014), for the criteria adopted in this study, was not adequate in situations where the objective character of the breeding had no positive genotypic correlations with the others. The precise quantification of the actual efficiency of the selective processes was made unfeasible due to the variation of environmental conditions between the selection environment and the driving environment of the most advanced generation.

INTRODUÇÃO GERAL

A soja é a principal oleaginosa produzida e consumida no mundo. Sua importância se deve a seu uso na alimentação animal, através do farelo, e no consumo humano, por meio do óleo. No Brasil, a partir dos anos 1970, a produção da oleaginosa passou a ter grande relevância para o agronegócio, devido ao aumento das áreas cultivadas e, principalmente, pelo incremento da produtividade.

Na safra de 2015/2016 a produtividade média da soja foi 2.870 kg ha⁻¹ e a produção de 95,4 milhões de toneladas em área de 33,2 milhões de hectares. Entretanto, diferente do milho, a produtividade média da soja, segundo dados da CONAB (2016), encontra-se estagnada em cerca de 2.800 kg ha⁻¹ desde a última década.

Diversos fatores contribuíram para isso como, a entrada da ferrugem asiática nas lavouras brasileiras na safra 2001/2002, a elevada pressão nematoide e principalmente a utilização de cultivares mais precoces para possibilitar o plantio da segunda safra.

Uma das maneiras de solucionar o problema seria a obtenção de cultivares que atendessem às exigências agrícolas vigentes e que fossem mais produtivas, através da seleção.

No melhoramento de plantas, a seleção é uma das principais ferramentas do melhorista, independentemente do tipo de método utilizado. Visa, basicamente, aumentar a frequência de alelos favoráveis que governam a expressão de características desejáveis. Entre essas características têm-se a produção de grãos, a resistência a doenças, o ciclo, etc.

Para que a seleção seja eficiente é necessário haver variabilidade genética na população, sendo o progresso do programa maior tanto quanto for maior essa variabilidade.

Muitas características apresentam dificuldades na sua seleção, razão da baixa herdabilidade, e, ou, devido a problemas de medição ou identificação. Nessas situações o conhecimento da associação entre características é de grande importância nos trabalhos de melhoramento (CRUZ e CARNEIRO, 2006)

Existem diversas medidas de associação entre caracteres como; os efeitos diretos da análise de trilha, as estimativas de correlação canônicas, as correlações fenotípicas e genotípicas, sendo essa última uma das mais utilizadas pelos melhoristas devido à baixa complexidade de obtenção, e, por, segundo Cruz et al. (2012), envolverem associação de natureza herdável.

Em um programa de melhoramento de soja, grandes matrizes de correlação são frequentemente computadas para seus estudos fenotípicos/genotípicos, dificultando a análise de toda a informação de forma eficaz (SILVA et al., 2016).

Uma técnica que pode auxiliar nessa tarefa é a análise de rede de correlações (EPSKAMP et al., 2012). Todavia, não foi encontrado nenhum trabalho que verificasse a viabilidade do uso desta técnica no melhoramento genético de soja.

Entre as técnicas de seleção utilizadas no melhoramento de plantas, a seleção visual é o método mais antigo, simples e, provavelmente, o mais empregado no melhoramento de plantas ao longo do tempo. Nessa é utilizada a habilidade dos melhoristas em, visualmente, identificar os indivíduos genotipicamente superiores (WEATHERWAX, 1954).

Na literatura, os resultados sobre a eficiência desse método de seleção são desconhecidos, todavia, estudos da eficiência da seleção visual de soja em condições de ambiente protegido são escassos.

Outra estratégia na seleção utilizada no melhoramento de plantas é a seleção indireta ou seleção correlacionada. Essa se baseia na possibilidade da seleção para uma característica, normalmente de mais fácil avaliação ou de maior herdabilidade, poder proporcionar alterações em outros caracteres.

Na cultura da soja, uma das características que pode auxiliar na obtenção de variedades mais produtivas é a capacidade de ramificação das plantas. Uma vez que, quanto maior o número de hastes laterais das plantas, maior será a quantidade de nós férteis da planta para o surgimento das vagens.

Para Verneti (1983) a capacidade genética da soja para produção de grãos pode ser expressa por certos caracteres morfológicos da planta, entre eles, o

número de ramificações, número de vagens por ramificação e o número de grãos por ramificação.

Dessa forma, a busca por genótipos com maior capacidade de emissão de hastes laterais poderá resultar em variedades mais produtivas.

Todavia, apesar da importância explícita da capacidade de emissão de ramos laterais no melhoramento de soja, os trabalhos disponíveis na literatura são escassos e não concisos quanto a parâmetros genéticos da característica, quanto a sua eficiência de seleção na busca por genótipos mais produtivos, e quanto aos efeitos que tal seleção acarretaria em outras características de importância agronômica.

Além da produtividade por área, a seleção de outros caracteres, tais como aqueles que contribuem para a redução de custos de produção, é de extrema importância para obtenção de genótipos realmente superiores (RAMALHO et al., 2012).

Dessa forma, uma maneira de aumentar a chance de êxito de um programa de melhoramento é por meio da seleção simultânea de um conjunto de caracteres de importância econômica. Para tal, a teoria de índice de seleção permite combinar as múltiplas informações contidas na unidade experimental, possibilitando a seleção com base em um complexo de variáveis que reúna vários atributos de interesse econômico (CRUZ et al. 2012).

Diversos autores como Costa et al. (2004), Bárbaro et al. (2007) e Arnhold e Silva (2009), têm procurado comparar diferentes índices em diversas situações buscando identificar os mais eficientes para a cultura da soja, obtendo todavia, resultados contrastantes.

Diante de toda essa gama de informações, verifica-se que apesar da soja ser uma cultura amplamente pesquisada, ainda há muitas lacunas a serem preenchidas no que diz respeito ao seu melhoramento.

Nesse sentido, os objetivos desses trabalhos foram:

1- Determinar as correlações genotípicas entre caracteres morfoagronômicas de soja por meio de redes de correlações, determinar estruturas de ligação entre essas características e assim verificar a viabilidade do uso de rede de correlações no melhoramento de soja.

2- Avaliar a eficiência da seleção visual em soja sob condições de ambiente uniforme, determinar se a habilidade de um avaliador para selecionar visualmente depende de sua experiência com a cultura e, estudar a eficiência da seleção visual de caracteres associados à produtividade para obtenção de ganhos em rendimento.

3- Estimar parâmetros genéticos para a capacidade de ramificação na soja, medir a eficiência da seleção de genótipos mais ramificados na busca de materiais mais produtivos e verificar a influência dessa seleção em outras características de importância agronômica.

4 - Avaliar dois novos índices de seleção e o índice de seleção visual, comparar a eficiência relativa desses com índices já utilizados, determinando os métodos superiores e mais similares, examinar a possibilidade do uso do peso econômico (w_i) na obtenção de genótipos de soja mais promissores e verificar a real eficiência desses processos seletivos por meio do ganho realizado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARNHOLD, E.; SILVA, R. G. Eficiências relativas de índices de seleção considerando espécies vegetais e pesos econômicos iguais entre caracteres. **Bioscience Journal**, v. 25, n. 3, 2009.

BÁRBARO, I. M.; MUNIZ, F. R. S.; CENTURION, M. A. P. C.; DI MAURO, A. O.; UNÊDA-TREVISOLI, S. H.; COSTA, M. M. Comparação de estratégias de seleção no melhoramento de populações F5 de soja. **Ceres**, v. 54, n. 313, 2007.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. 2016. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, décimo levantamento.**, n.10 julho 2016 / Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab. 85p.

COSTA, M. M.; DI MAURO, A. O.; UNÊDA-TREVISOLI, S. H.; ARRIEL, N. H. C.; BÁRBARO, I. M.; MUNIZ, F. R. S. Ganho genético por diferentes critérios de seleção em populações segregantes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 11, p. 1095-1102, 2004.

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

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Editora UFV, 2012. 514p.

EPSKAMP, S.; CRAMER, A. O. J.; WALDORP, L. J.; SCHMITTMANN, V. D.; BORSBOOM, D. qgraph: network visualizations of relationships in psychometric data. **Journal of Statistical Software**, v.48, p.1-18, 2012.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A.F.B.; SANTOS, J.B.; NUNES, J.A.R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: Editora UFLA, 2012. 522p.

SILVA, A. R. D.; RÊGO, E. R. D.; PESSOA, A. M. D. S.; RÊGO, M. M. D. Correlation network analysis between phenotypic and genotypic traits of chili pepper. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 4, p. 372-377, 2016.

VERNETTI, F. J. **Soja: Genética e Melhoramento**. Campinas: Fundação Cargil, v.2, 1983.

WEATHERWAX, E. I. **Indian corn in old America**. New York: Macmillan, 1954. 253 p.

CAPÍTULO 1

ANÁLISE DE REDES DE CORRELAÇÕES GENOTÍPICAS ENTRE CARACTERÍSTICAS DE SOJA

RESUMO

SILVA, Francisco Charles dos Santos. D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2017. **Rede de correlações, eficiência da seleção visual e indireta via capacidade de ramificação e de índices de seleção em soja.** Orientador: Tuneo Sedyama. Coorientadores: Cosme Damião Cruz e Felipe Lopes da Silva.

Objetivou-se com este estudo determinar as correlações genotípicas entre caracteres morfoagronômicas de soja por meio de redes de correlações, determinar grupos de ligação entre essas características e verificar a viabilidade do uso de rede de correlações no melhoramento de soja. Os dados foram extraídos de dois experimentos sendo foram conduzidas vinte variedades de soja, nos quais foram avaliadas 37 características morfoagronômicas distribuídas em sete grupos diferentes. Para verificar a evolução da complexidade de interpretação das redes de correlações com o incremento de variáveis, e assim, a sua potencialidade de uso no melhoramento de soja, foram obtidas seis redes, cada uma com um número maior de caracteres. Os padrões de correlação foram facilmente identificados com a técnica de rede de correlações. Nenhuma das variáveis analisadas mostrou-se importante para o melhoramento da produção de grãos por planta. No conjunto gênico avaliado foi identificado um grupo de características correlacionadas

genotipicamente composto por variáveis mensuradas em plantas adultas e variáveis relacionadas à altura. A técnica de rede de correlações se mostrou eficiente, podendo ser utilizada na tomada de decisões em programas de melhoramento de soja.

Palavras chave: Produtividade, *Glycine max* (L.) Merrill, associação entre caracteres, seleção.

ABSTRACT

SILVA, Francisco Charles dos Santos. D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2017. **Network of correlations, efficiency of visual and indirect selection through branch capacity and selection indexes in soybean.** Adviser: Tuneo Sedyama. Co-advisers: Cosme Damião Cruz and Felipe Lopes da Silva

The objective of this study was to determine the genotypic correlations between morphoagronomic characters of soybean by means of correlation networks, to determine linkage groups among these characteristics and to verify the viability of the use of a network of correlations in soybean breeding. The data were extracted from two experiments and twenty soybean varieties were conducted, in which 37 morphoagronomic characteristics distributed in seven different groups were evaluated. In order to verify the evolution of the complexity of the interpretation of the networks of correlations with the increment of variables, and thus its potentiality of use in soybean breeding, six networks were obtained, each with a larger number of characters. Correlation patterns were easily identified with the correlation network technique. None of the analyzed variables was shown to be important for the improvement of grain yield per plant. In the evaluated genotype, a group of correlated characteristics was identified genotypically composed of

variables measured in adult plants and variables related to height. The correlation network technique was efficient and can be used in decision making in soybean breeding programs.

Key-words: Productivity, *Glycine max* (L.) Merrill, association between characters, selection.

INTRODUÇÃO

Em programas de melhoramento genético, o conhecimento das relações existentes entre caracteres, tais como estimados pelas correlações, tem sido de grande relevância no melhoramento vegetal, pois fornece informações úteis ao melhorista que auxiliam no processo seletivo (NOGUEIRA et al., 2012).

A correlação entre dois caracteres pode ser de natureza fenotípica, genotípica ou ambiental, sendo que somente as correlações genotípicas que envolvem uma associação de natureza herdável é de maior interesse para o melhoramento. Conforme Falconer (1996), a correlação genética tem duas causas, uma devido à pleiotropia, causa principal, e a outra ocasionada pela ligação gênica, causa temporária.

Um dos principais caracteres de interesse agrônômico em programas de melhoramento genético de soja é a produtividade de grãos. Entretanto, outros caracteres como altura de planta na maturação, altura de inserção da primeira vagem, ciclo, entre outros, devem ser levados em consideração para tornar os genótipos selecionados mais competitivos e de fácil manejo (SEDIYAMA et al., 2005). Dessa forma, grandes matrizes de correlação são frequentemente computadas para seus estudos fenotípicos/genotípicos, dificultando a análise de toda a informação de forma eficaz (SILVA et al., 2016).

Uma técnica que pode auxiliar nessa tarefa é a análise de rede de correlações. Segundo Epskamp et al. (2012), o sistema visual humano é capaz de processar naturalmente informação multi-dimensionais. Por exemplo, pode-se imediatamente detectar padrões sugestivos em um gráfico de dispersão, enquanto esses mesmos padrões são invisíveis quando os dados são representados numericamente em uma matriz. Isso torna a análise de rede, para a representação de um grande conjunto de informações, uma linguagem mais intuitiva para os pesquisadores Langfelder e Horvath (2008).

Na análise de rede de correlação, as variáveis são representadas por nós, que são conectados por linhas. Cada linha contém um peso indicando a força da correlação. Quanto mais forte a correlação entre duas variáveis, mais espessa é a linha que as conecta na trama da rede. Uma forma de representação da trama é a

disposição dos nós de modo que o comprimento das linhas depende da intensidade das correlações, de maneira que, linhas mais curtas indicaram correlações mais fortes, desmontando, assim, como as variáveis agrupam (EPSKAMP et al., 2012).

Assim, a representação em rede bidimensional de uma matriz de correlação p-dimensional permite a detecção de estruturas importantes e padrões estatísticos complexos que são difíceis de extrair por outros meios. Por exemplo, ao considerar o uso de uma análise de correlação canônica, para estudar a relação entre “n” grupos de variáveis é necessário uso de cálculos matemáticos complexos, além do prévio conhecimento da composição de tais grupos, o que nem sempre é possível (SILVA et al., 2016).

A análise de redes de correlação foi utilizado para caracterizar os sistemas complexos em muitas áreas, como na biologia (URSEM et al., 2008 ; DILEO et al., 2011.; PEARCE et al, 2015), finanças (KUMAR e DEO de 2012), saúde (SABA et al., 2014), ciência de alimentos (MONFORTE et al., 2015), e no melhoramento de pimenteiros (SILVA et al., 2016). Todavia, não foi encontrado nenhum trabalho que verificasse a viabilidade do uso da técnica no melhoramento genético de soja.

Dessa forma, objetivou-se com este estudo determinar as correlações genotípicas entre caracteres morfoagronômicas de soja por meio de redes de correlações, determinar estruturas de ligação entre essas características e assim verificar a viabilidade do uso de rede de correlações no melhoramento de soja.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados foram extraídos de experimentos conduzidos em casa de vegetação, realizados em dois anos agrícolas. Foram avaliados 20 cultivares de soja, em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. Cada unidade experimental foi constituída de um vaso com duas plantas. Todos os genótipos provenientes do Banco de Germoplasma de soja da UFV.

Foram analisadas trinta e sete características morfoagronômicas.

Oito variáveis foram avaliadas nas plantas no estágio V3: comprimento do

hipocótilo, comprimento do epicótilo, comprimento do primeiro internódio, comprimento do pecíolo da unifoliolada, comprimento do pecíolo da trifoliolada, comprimento da raquíz da folha central, ângulo de inserção dos pecíolos da folha unifoliolada e ângulo de abertura dos pecíolos das folhas unifolioladas.

Seis caracteres foram mensurados nas plantas no final do ciclo, tratadas aqui como plantas adultas: número de nós, diâmetro da haste principal, número de hastes laterais, altura da inserção da primeira vagem, altura de inserção da primeira haste lateral e ciclo final.

Quatro variáveis que correspondem aos componentes de rendimento da soja: peso de 100 grãos, número de vagens por planta, número de sementes por vagem, peso de grãos por planta.

Duas variáveis mensuradas nas sementes: largura do hilo e comprimento do hilo.

Quatro variáveis mensuradas nas vagens: comprimento da vagem, diâmetro da vagem, largura da vagem, curvatura da vagem e largura do acinturamento da vagem.

Sete variáveis relacionadas à altura de plantas em diferentes estádios de desenvolvimento – altura em V3, altura em R1, altura em R2, altura em R3, altura em R4 e altura da planta em R5.

Por fim, oito variáveis referentes à duração em dias de diferentes estádios de desenvolvimento, abordadas neste trabalho como variáveis ligadas de ciclo - R1 ao R2, R2 ao R3, R3 ao R4, R4 ao R5, R5 ao R6, R6 ao R7 e R7 ao R8.

As descrições dos estádios de desenvolvimento V3, R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7 e R8 são apresentadas por Fehr e Caviness (1977).

Para verificar a evolução da complexidade de interpretação das redes de correlações com o incremento de variáveis, e assim, a sua potencialidade de uso no melhoramento de soja, foram obtidas seis redes, sendo a primeira composta pelas variáveis de plantas adultas e pelas variáveis de componentes de rendimento. Na segunda rede foram adicionadas a estas as variáveis mensuradas nas sementes. Para obtenção da terceira, quarta, quinta e sexta redes foram incrementadas respectivamente as variáveis mensuradas nas vagens, as relacionadas a alturas, as ligadas ao ciclo e as mensuradas nas plantas em V3.

As informações coletadas foram submetidas à análise de variância conjunta seguindo o modelo $Y_{ijk} = \mu + (b/a)_{jk} + g_i + a_j + ga_{ij} + e_{ijk}$, em que: Y_{ijk} é a observação no k-ésimo bloco, avaliado no i-ésimo genótipo e j-ésimo ano; μ é a média geral dos ensaios; $(b/a)_{jk}$ é o efeito d bloco K dentro do ano j; g_i é o efeito do genótipo i (efeito fixo); a_j é o efeito do ano j (efeito aleatório); ga_{ij} corresponde ao efeito da interação entre o i-éssimo genótipo com o j-ésimo ano (efeito aleatório) e o e_{ijk} é o erro aleatório associado à observação ijk.

Posteriormente, com base nos componentes de variância e dos componentes quadráticos da análise conjunta, foram obtidas a matriz de correlação genotípica por meio do estimador $rg = Cov_{g(X,Y)} / \sqrt{\hat{\phi}_{g(X)}\hat{\phi}_{g(Y)}}$, em que: $Cov_{g(X,Y)}$ é a covariância entre os caracteres X e Y nos dois anos; $\hat{\phi}_{g(X)}$ e $\hat{\phi}_{g(Y)}$ é a variabilidade genética do caráter X e Y, respectivamente.

As matrizes de correlação foram analisadas através da criação de redes de correlação, nas quais as ligações entre variáveis foram determinadas pela "matriz de adjacência" $A = h(R)$, com a seguinte função: $h(r_{ij}) = 1/2 \{SNG(|r_{ij}| - \rho) + 1\}$, em que: ρ é o parâmetro que determina o valor mínimo que uma correlação deve apresentar para ser representada na rede de correlações. Nesse trabalho, assim como estudo de Silva et al. (2016), seu valor foi definido como zero, para que todas as conexões entre variáveis pudessem ser traçadas.

No entanto, a espessura e a intensidade da cor das bordas foi controlada por aplicação de um valor de corte igual a 0,6, o que significa que apenas $|r_{ij}| \geq 0,6$ têm as suas linhas destacadas. Por fim, as correlações positivas foram coloridas em verde escuro, enquanto as negativas foram retratadas em vermelho.

Correlações positivas indicam a tendência de uma variável aumentar quando a outra aumenta, correlações negativas indicam tendência de uma variável aumentar enquanto a outra diminui.

Todas as análises foram realizadas utilizando o aplicativo computacional Genes - Aplicativo computacional em genética e estatística (CRUZ, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo Nogueira et al. (2012) na interpretação de correlações, três aspectos devem ser considerados: a magnitude, a direção e a significância.

Uma das possíveis desvantagens no uso de redes de correlação, pra fins de melhoramento, é a dificuldade da representação gráfica da significância das estimativas de correlação apresentadas.

Entretanto, analisando o estimador do teste t para determinação da significância de correlações, dado por: $t = (r/\sqrt{1-r^2}) \times \sqrt{n-v}$, em que n é o número de observações e v é o número de variáveis, é possível concluir que, quanto maior o número de observações maior a possibilidade de se obter significância, mesmo que a magnitude da correlação seja baixa, pode ter-se assim uma estimativa de correlação com significância mais em significado biológico.

Tendo isso, a ausência da significância das estimativas de correlações representadas por uma rede, não seria um impedimento para o uso da técnica gráfica.

A rede construída com correlações das características de planta adulta, e rendimento é mostrada na Figura (1A). Visualmente não é possível observa a formação de grupos coesos de variáveis, apesar das variáveis obtidas na fase de maturação da soja (plantas adultas), e das variáveis de rendimento encontrarem-se em lados opostos da rede.

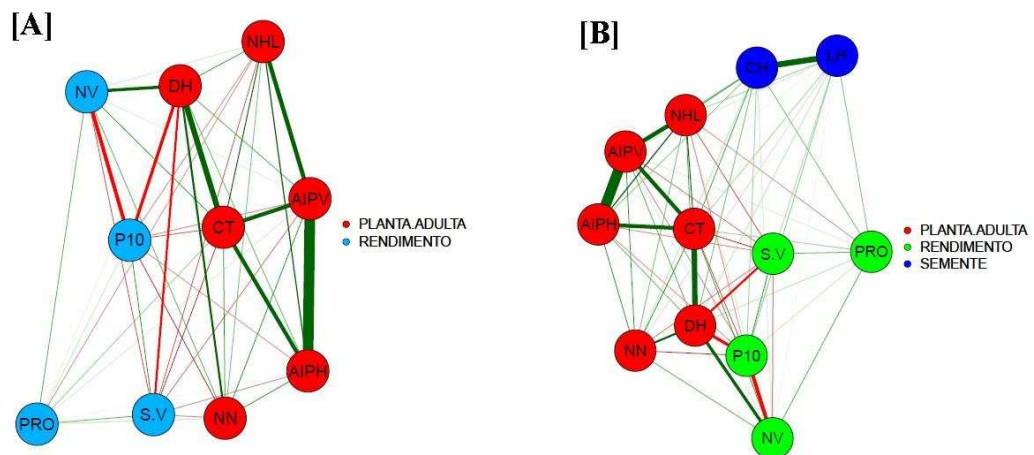


Figura 1. Rede de correlações genotípicas de características de soja. As linhas vermelhas representam correlações negativas e as verdes representam correlações positivas. A espessura da linha é proporcional à magnitude da correlação. As linhas em destaque apresentam correlação em módulo maior que 0,6. Variáveis de plantas adultas: número de nós (NN), diâmetro da haste principal (DH), número de hastes laterais (NHL), altura da inserção da primeira vagem (AIPV), altura de inserção da primeira haste lateral (AIPH) e ciclo total (CT). Variáveis de rendimento: peso de 100 grãos (P10), número de vagens por planta (NV), número de sementes por vagem (S.V), peso de grãos por planta (PRO). Variáveis de semente: largura do hilo (LH) e comprimento do hilo (CH).

O número de vagens apresentou correlação genotípica negativa com o peso de 100 grãos. Segundo Silva et al. (2015) e Nogueira et al. (2012), isso se deve a um efeito compensação da distribuição de fotoassimilados na planta, de forma que, quanto maior o número de vagens por planta, menor é a disponibilidade de fotoassimilados para o enchimento dos grãos. Apesar dessa relação, nenhum dos componentes de rendimento apresentou correlações superiores a 0,6 com a produção de grãos por planta (Figura1A). Também é possível observar que o ciclo total possui relação genotípica linear positiva com o diâmetro da haste principal, altura de inserção da primeira vagem, e com a altura de inserção da primeira haste. Dessa forma a seleção de cultivares mais precoces, o que é desejado para quase todas as regiões de cultivo da soja no Brasil, resultaria em genótipos com hastes principais mais delgadas, com hastes e vagens inseridas em nós mais altos na planta.

Dentre as características avaliadas o número de hastes laterais apresentou correlação positiva genotípica superior a 0,6 apenas com a altura de inserção da primeira vagem.

Barros et al. (2016) também encontraram correlação fraca entre o número de hastes laterais e a produção de grãos por planta (0,0272). Entretanto, os autores identificaram correlações de elevada magnitude entre o número de hastes laterais e os componentes primários de rendimento da soja, sendo essas de 0,8757 com o número de vagens, -0,6197 com o número de sementes por vagens, e -0,9267 com o peso de cem sementes. Machikowa e Laosuwan (2011) também obtiveram elevada correlação genotípica entre o número de hastes laterais e o número de vagens (0,66).

Os contrastes entre os resultados apresentados e os obtidos neste trabalho

se devem, provavelmente, à estrutura genética distinta dos materiais utilizados nos diferentes estudos.

Com a adição das características avaliadas nas sementes (comprimento e largura do hilo) (Figura 1B), formou-se um grupo isolado das demais, que não exerceu influência linear nos caracteres relacionados a rendimento nem nos mensurados na planta adulta.

Com exceção do diâmetro da vagem, que apresentou forte correlação genotípica positiva com o peso de 100 grãos e com o número de sementes por vagem, e correlação negativa, superior a 0,6, com o número de vagens por planta, nenhuma outra variável mensurada nas vagens apresentou grande influência linear sobre os componentes de rendimento (Figura 2 A).

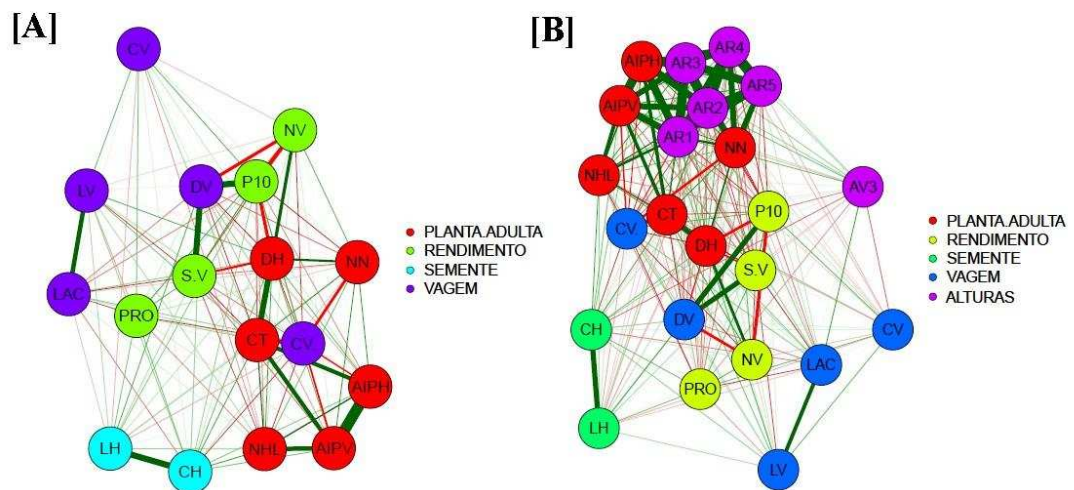


Figura 2. Rede de correlações genotípicas de características de soja. As linhas vermelhas representam correlações negativas e as verdes representam correções positivas. A espessura da linha é proporcional à magnitude da correlação. As linhas em destaque apresentam correlação em módulo maior que 0,6. Variáveis de plantas adultas: número de nós (NN), diâmetro da haste principal (DH), número de hastes laterais (NHL), altura da inserção da primeira vagem (AIPV), altura de inserção da primeira haste lateral (AIPH) e ciclo total (CT). Variáveis de rendimento: peso de 100 grãos (P10), número de vagens por planta (NV), número de sementes por vagem (S.V), peso de grãos por planta (PRO). Variáveis de semente: largura do hilo (LH) e comprimento do hilo (CH). Variáveis mensuradas nas vagens: comprimento da vagem (CV.), diâmetro da vagem (DV), largura da vagem (LV), curvatura da vagem (CV) e largura do acinturamento da vagem (LAC). Variáveis relacionadas à altura de plantas: altura em V3 (AV3), altura em R1 (AR1), altura em R2 (AR2), altura em R3 (AR3), altura em R4 (AR4) e altura da planta em R5 (AR5).

Dessa forma, dentro da população analisada, a obtenção de genótipos com grãos mais pesados e com maior número de sementes por vagem, pode ser alcançada pela seleção de plantas com vagens com maior diâmetro, entretanto, isso resultará na redução do número de vagens por planta, mas sem alterar a produção de grãos (Figura 2 A).

Na rede de correlações genotípicas, apresentada na Figura 2B, é visualmente perceptível que alguns caracteres de altura e de planta adulta formam um grupo de variáveis correlacionadas.

Na Figura 1A, onde também foram computadas as variáveis de planta adulta, nenhum grupo de caracteres foi identificado, isso demonstra que, a capacidade de identificação de grupos de variáveis em uma rede de correlação depende do número de caracteres analisados, e que, dentro de um mesmo grupo nem todos os pares de caracteres possuem associação linear superior ao ponto de corte adotado.

No grupo identificado na Figura 2B, o número de nós não possui correlação genotípica com a altura de inserção da primeira vagem, como evidenciado na Figura 1A.

Utilizando redes de correlação para analisar uma matriz de correlação genotípica de caracteres de pimenteiros, Silva et al. (2016) também identificaram um grupo de variáveis correlacionadas. Este é composto por característica de fruto e de inflorescência.

A incorporação das oito variáveis de ciclo na rede de correlações genotípicas (Figura 3A), não promoveu alterações no agrupamento de variáveis preexistente. Nessa rede é possível observar que a duração do estágio reprodutivo R2 ao R3, que corresponde ao período de floração da soja, possui correlação genotípica positiva com a altura de inserção da primeira vagem e com a altura de inserção da primeira haste lateral.

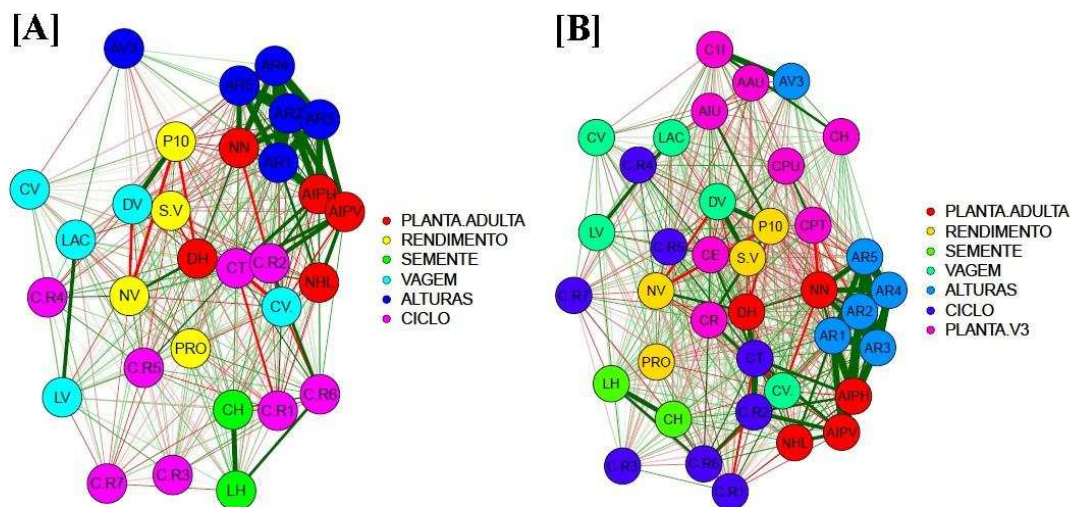


Figura 3. Rede de correlações genotípicas de características de soja. As linhas vermelhas representam correlações negativas e as verdes representam correções positivas. A espessura da linha é proporcional à magnitude da correlação. As linhas em destaque apresentam correlação em módulo maior que 0,6. Variáveis de plantas adultas: número de nós (NN), diâmetro da haste principal (DH), número de hastes laterais (NHL), altura da inserção da primeira vagem (AIPV), altura de inserção da primeira haste lateral (AIPH). Variáveis de rendimento: peso de 100 grãos (P10), número de vagens por planta (NV), número de sementes por vagem (S.V), peso de grãos por planta (PRO). Variáveis de semente: largura do hilo (LH) e comprimento do hilo (CH). Variáveis mensuradas nas vagens: comprimento da vagem (CV.), diâmetro da vagem (DV), largura da vagem (LV), curvatura da vagem (CV) e largura do acinturamento da vagem (LAC). Variáveis relacionadas à altura de plantas: altura em V3 (AV3), altura em R1 (AR1), altura em R2 (AR2), altura em R3 (AR3), altura em R4 (AR4) e altura da planta em R5 (AR5). Variáveis ligadas ao ciclo ou duração de diferentes estádios de desenvolvimento: R1 ao R2 (C.R1), R2 ao R3 (C.R2), R3 ao R4 (C.R3), R4 ao R5 (C.R4), R5 ao R6 (C.R5), R6 ao R7 (C.R6), R7 ao R8 (C.R7) e ciclo total (CT). Variáveis obtidas das plantas no estágio V3: comprimento do hipocótilo (CH.), comprimento do epicótilo (CE), comprimento do primeiro internódio (C1I), comprimento do pecíolo da unifoliolada (CPU), comprimento do pecíolo da trifoliolada (CPT), comprimento da raquize da folha central (CR), ângulo de inserção dos pecíolos da folha unifoliolada (AIU) e ângulo de abertura dos pecíolos das folhas unifolioladas (AAU).

Uma provável explicação para essas correlações é a elevada demanda energética das plantas de soja no estágio de floração, que, se estendida, poderia inibir o desenvolvimento ou promover a abscisão de estruturas nos nós mais

inferiores da planta de soja.

Durante a fase de florescimento ocorre um aumento da absorção de nutrientes. Nessa fase ocorre também a intensificação da fixação biológica do nitrogênio e da síntese e acúmulo de proteínas. Estas serão mobilizados para formação de estruturas reprodutivas (Vargas e Hungria 1997).

A rede de correlações genotípicas apresentada na Figura (3B) é constituída por todos os grupos de variáveis analisados neste estudo. Nesta rede pode-se observar que, com exceção de algumas variáveis, que apresentaram correlações superiores a 0,6 com alguns dos componentes de rendimento, nenhum dos grupos de variáveis estudados influenciou de forma incisiva os caracteres relacionados a rendimento de grãos de soja.

Também pode ser destacado, que a metodologia de rede de correlações permite prontamente visualizar a forte associação entre as variáveis de altura e de planta adulta, o que seria difícil de visualizar na matriz de correlação com trinta e sete linhas e trinta e sete colunas, utilizada para gerar a rede.

Assim, o uso de rede de correlações pode elevar a eficácia da seleção no melhoramento de soja, uma vez que, permite com rapidez identificar os pares de características que apresentam correlações de maior magnitude, determinar quais grupos de variáveis que influenciam de maneira mais expressiva os caracteres mais importantes para o programa de melhoramento e identificar os grupos de variáveis correlacionadas.

Silva et al. (2016) também observaram a potencialidade do uso de redes de correlação no melhoramento de pimenta (*Capsicum* spp.).

O incremento do número de grupos de variáveis não prejudicou de maneira substancial a interpretação das redes de correlação, uma vez que, mesmo a linha que representa a correlação entre peso de cem grãos e diâmetro da haste principal, uma das linhas de menor espessura na Figura (1A), rede obtida com menor número de variáveis, é facilmente identificada na rede de correlações construída com o maior número de variáveis (Figura 3B).

CONCLUSÕES

No conjunto gênico avaliado foi identificado um grupo de características correlacionadas genotipicamente, composto por variáveis mensuradas em plantas adultas e variáveis relacionadas à altura.

A técnica de rede de correlações é eficiente e pode ser utilizada na tomada de decisões em programas de melhoramento de soja.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, J. P. A.; SEDIYAMA, T.; SILVA, F. C. S.; SILVA, A. F.; BEZERRA, A. R. G.; ROSA, D. P.; OLIVEIRA, D. S. Estimates of Genetic Parameters and Efficiency in Selection for Branching Capacity in Soybean Genotypes. **Journal of Agronomy**, v. 15, n. 1, p. 39, 2016.

CRUZ, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**. v.35, n.3, p.271-276, 2013

DILEO, M. V.; STRAHAN, G. D.; BAKKER, M. den; HOEKENGA, O.A. Weighted correlation network analysis (WGCNA) applied to the tomato fruit metabolome. **PLoS ONE**, v.6, e26683, 2011.

EPSKAMP, S.; CRAMER, A. O. J.; WALDORP, L. J.; SCHMITTMANN, V. D.; BORSBOOM, D. qgraph: network visualizations of relationships in psychometric data. **Journal of Statistical Software**, v.48, p.1-18, 2012.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**, Ed. 4. Longmans Green, Harlow, Essex, UK, 1996, 464p.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University, 12p. (Iowa State University. Special Report, 80), 1977.

KUMAR, S.; DEO, N. Correlation and network analysis of global financial indices. **Physical Review E**, v.86, p.026101, 2012.

LANGFELDER, P.; HORVATH, S. WGCNA: an R package for weighted correlation network analysis. **BMC Bioinformatics**, v.9, p.559, 2008.

MACHIKOWA, T.; LAOSUWAN, P. Path coefficient analysis for yield of early maturing soybean. **Sonklanakarin Journal of Science and Technology**, v. 33, n. 4, p. 365, 2011.

MONFORTE, A. R.; JACOBSON, D.; FERREIRA, A. C. S. Chemiomics: network reconstruction and kinetics of Port wine aging. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.63, p.2576-2581, 2015.

NOGUEIRA, A. P. O.; SEDIYAMA, T.; SOUSA, L. B.; HAMAWAKI, O. T.; CRUZ, C. D.; PEREIRA, D. G.; MATSUO, É. Path analysis and correlations among traits in soybean grown in two dates sowing. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 6, 2012.

PEARCE, S.; FERGUSON, A.; KING, J.; WILSON, Z. A. FlowerNet: a gene expression correlation network for anther and pollen development. **Plant Physiology**, v.167, p.1717-1730, 2015.

SABA, H.; VALE, V. C.; MORET, M. A.; MIRANDA, J. G. V. Spatio-temporal correlation networks of dengue in the state of Bahia. **BMC Public Health**, v.14, p.1085, 2014.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C.; REIS, M. S. **Melhoramento da soja**. In: BORÉM, A. Melhoramento de espécies cultivadas. 2 ed. Viçosa: UFV, 2005. p. 553-603.

SILVA, A. F.; SEDIYAMA, T.; SILVA, F. C. S.; BEZERRA, A. R. G.; FERREIRA, L. V. Correlation and path analysis of soybean yield components. **International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences**, v. 5, p. 177-179, 2015.

SILVA, A. R. D.; RÊGO, E. R. D.; PESSOA, A. M. D. S.; RÊGO, M. M. D. Correlation network analysis between phenotypic and genotypic traits of chili pepper. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 4, p. 372-377, 2016.

URSEM, R.; TIKUNOV, Y.; BOVY, A.; BERLOO, R.; EEUWIJK, F. A correlation network approach to metabolic data analysis for tomato fruits. **Euphytica**, v.161, p.181-193, 2008.

VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. Fixação biológica do nitrogênio em soja. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (ed.) **Biologia dos solos de cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, p. 295-360, 1997.

CAPÍTULO 2

EFICIÊNCIA DA SELEÇÃO VISUAL DE CARACTERES AGRONÔMICOS PARA PRODUÇÃO DE SOJA SOB EM AMBIENTE PROTEGIDO

RESUMO

SILVA, Francisco Charles dos Santos. D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2017. **Rede de correlações, eficiência da seleção visual e indireta via capacidade de ramificação e de índices de seleção em soja.** Orientador: Tuneo Sedyama. Coorientadores: Cosme Damião Cruz e Felipe Lopes da Silva.

Objetivou-se com este trabalho avaliar a eficiência da seleção visual em soja, em ambiente protegido, determinar se a habilidade de um avaliador para selecionar visualmente depende de sua experiência com a cultura e, estudar a eficiência da seleção visual, de caracteres associados à produtividade para obtenção de ganhos em rendimento. Para isso foram utilizadas três populações de soja (F3, F4 e F5) composta por 20 famílias cada, conduzidas em casa de vegetação, em experimentos de blocos casualizados com três repetições e unidade experimental de duas plantas por vaso. Nestas, cinco avaliadores com diferentes níveis de experiência com a cultura efetuaram a seleção visual em cada planta. Os avaliadores diferem na habilidade de identificar plantas mais produtivas, todavia esta habilidade não está associada à experiência do avaliador com a cultura. Na busca por plantas de soja mais produtivas, o número de vagens por planta é a

característica que mais auxilia a seleção visual, desde que exista uniformidade das condições experimentais e variabilidade genética.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) Merrill, capacidade produtiva, melhoramento genético, componentes de produção.

ABSTRACT

SILVA, Francisco Charles dos Santos. D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2017. **Network of correlations, efficiency of visual and indirect selection through branch capacity and selection indexes in soybean.** Adviser: Tuneo Sedyama. Co-advisers: Cosme Damião Cruz and Felipe Lopes da Silva

The objective of this work was to evaluate the efficiency of visual selection in soybean in a protected environment, to determine if the ability of an evaluator to select visually depends on their experience with the culture and to study the efficiency of visual selection of characters associated with productivity To obtain income gains. For this, three soybean populations (F3, F4 and F5) were used, consisting of 20 families each, conducted in a greenhouse, in randomized block experiments with three replicates and experimental unit of two plants per pot. In these, five evaluators with different levels of experience with the culture made the visual selection in each plant. Evaluators differ in their ability to identify more productive plants, but this ability is not associated with the experimenter's experience with the crop. In the search for more productive soybean plants, the number of pods per plant is the feature that most helps the visual selection, provided there is uniformity of experimental conditions and genetic variability.

Key-words: *Glycine max* (L.) Merrill, productive capacity, genetic improvement, production components.

INTRODUÇÃO

A principal meta da maioria dos melhoristas de soja é elevar o potencial produtivo da espécie pela seleção de indivíduos superiores.

Entre as práticas utilizadas para elevar a produtividade, a seleção visual é o método mais antigo, simples e, provavelmente, o mais empregado no melhoramento de plantas ao longo do tempo. Utiliza-se, basicamente, a habilidade dos melhoristas em, visualmente, identificar os indivíduos genotipicamente superiores (WEATHERWAX, 1954).

Uma das primeiras discussões sobre seleção visual ocorreu no trabalho publicado por Engledow e Wadham (1923). Eles verificaram que a seleção visual depende da experiência do melhorista, o que foi corroborado por Salmon e Latter (1978) e por Bowman et al, (2004). Contudo, Townley-Smith et al. (1973) não encontraram diferença nas habilidades de seletores experientes e inexperientes.

Há vários relatos na literatura indicando que a seleção visual é de baixa eficiência. Shebeski (1967) mostrou que em populações F2 de trigo, a seleção visual não foi melhor que a seleção casual. Dahiya et al (1984) verificaram em populações F3 de grão de bico o rendimento das famílias selecionadas visualmente não era superior ao rendimentos das tomadas de forma casual. Marques et al. (2000) ao avaliarem populações de meio-irmãos, verificaram que para a cultura do milho, em média, a eficiência da seleção visual é pequena.

Entretanto, existem outros resultados que evidenciam a eficácia do método. Byth et al. (1969) relataram que a classificação visual foi útil para identificação de linhagens F3 de soja com alto rendimento de grãos em condições favoráveis de crescimento. Em linhagens F4 de algodão, Bowman et al. (2004) identificaram correlações significativas entre a classificação visual e o rendimento real de pluma dos genótipos avaliados em até 70%.

Entre os fatores que contribuem para falta de coerência entre os resultados

das pesquisas que buscam quantificar a eficiência da seleção visual, está a heterogeneidade da área experimental, em que, quanto mais heterogênea, maior a probabilidade da seleção visual não ser eficiente (GARDNER, 1961; MÉNDEZ, 1971 e MOLINA, 1983). Uma alternativa para melhorar essa estratégia seria a condução das populações a serem avaliadas em casa de vegetação, com ambiente mais uniforme.

Considerando que o modelo matemático que explica a produtividade de grãos em soja é multiplicativo: produtividade de grãos = número total de vagens por planta x número médio de grãos por vagem x peso médio de um grão, incrementos na produtividade podem ser obtidos com a seleção de genótipos com maior número de grãos por vagem ou com maior número de vagens por planta, que por sua vez, pode ser obtido com aumento do número de ramificações laterais.

Efeito significativos da influência dos componentes primários de rendimento sobre a produtividade da soja foram referidos por Khan et al. (2000); Iqbal et al. (2003); Bárbaro et al. (2007) e Nogueira et al. (2012). Entretanto não foram encontrados relatos da eficiência da seleção visual sobre essas características visando incremento na produtividade de soja.

Dessa forma, objetivou-se, avaliar a eficiência da seleção visual em soja sob condições de ambiente uniforme, determinar se a habilidade de um avaliador para selecionar visualmente depende de sua experiência com a cultura e, estudar a eficiência da seleção visual de caracteres associados à produtividade para obtenção de ganhos em rendimento.

MATERIAL E MÉTODOS

Para realização deste estudo foram utilizadas três populações de soja, F3, F4 e F5, cultivadas em casa de vegetação, em experimentos em blocos casualizados com três repetições e unidade experimental de duas plantas por vaso. Cada população foi composta por 20 famílias totalizando 120 plantas por

população.

A uniformidade do ambiente foi buscada pela homogeneização da fertilidade do solo em todas as unidades experimentais. Para isso, foi utilizado o mesmo tipo de solo que requereu a aplicação de 0,2 g de P_2O_5 , 0,15 g de K_2O e 3 g de calcário dolomítico por vaso. As sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*. Não foi efetuado o controle do período luminoso, nem da temperatura, sendo para o estudo considerado que a variação temporal desses fatores ocorreu de forma uniforme em toda a área experimental.

O controle de pragas e doenças foi efetuado de acordo com as recomendações para a cultura da soja (SEDIYAMA et al. 2015).

A precisão experimental foi avaliada pela estimativa da acurácia apresentada por Resende (2007), dada pelo estimador:

$$\hat{r}_{gg} = \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{CVe^2}{CVg^2} \right) / r} \right]^{\frac{1}{2}}$$

em que, $\hat{r}_{gg}$ é a acurácia do experimento; CVe^2 é o quadrado do coeficiente de variação experimental; CVg^2 é o quadrado do coeficiente de variação genético e r corresponde ao número de repetições.

Antes da colheita, quando as plantas encontravam-se no estágio R8 (95% das vagens maduras), foi realizada a identificação individual das plantas. Posteriormente, cinco avaliadores, com três níveis de experiência com a cultura, efetuaram a seleção visual em cada planta. Desses, um tinha 17 anos de experiência (experiente); dois tinham, em média, cinco anos de experiência (intermediário); e dois com nenhuma experiência (inexperientes).

Cada avaliador identificou primeiro 10% das plantas em cada população, que, em sua opinião, apresentavam os maiores número de vagens. A seleção foi repetida considerando o número sementes por vagem; depois o número de hastes e, por último, o valor agrônomo das plantas. Posteriormente, esse processo foi repetido com uma intensidade de 20%, em seguida 30% e 40% das plantas. Ainda foi realizada uma seleção aleatória, dentro de cada população, seguindo as mesmas proporções.

O valor agrônômico corresponde ao aspecto global da planta para uma série de caracteres adaptativos como quantidade de vagens, vigor, altura e número de hastes laterais, viabilidade para a colheita mecanizada, resistência à debulha prematura (HAMAWAKI et al., 2006)

As plantas foram colhidas individualmente. De cada uma foi obtido o número de vagens, o número médio de sementes por vagem, o número de hastes laterais e o peso dos grãos (g/planta). As plantas com maior peso de grãos foram identificadas e utilizadas para estimar a coincidência com os dados obtidos pelos avaliadores.

Um método comum para avaliar a eficiência da seleção visual tem sido a de comparar o nível de coincidência das plantas selecionadas com os indivíduos de maior rendimento real. Essa estratégia foi utilizada por Dahiya et al. (1984); Cutrim et al. (1997) e Bowman et al. (2004). Entretanto, a abordagem pode não ser a mais indicada, uma vez que, dois indivíduos podem apresentar pesos bem semelhantes e, como a seleção é efetuada em valor absoluto, a coincidência não será completa.

Dessa forma, para estimar a capacidade das diferentes alternativas de seleção visual de identificar as plantas de maior peso de grãos foi adotado o método de regressão linear com o modelo: $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \epsilon_i$, em que Y_i é o número de genótipos com maior peso de grãos nas proporções de 10%, 20%, 30% e 40% na população i ; X_i é o número de plantas coincidentes obtidas pela seleção visual com Y_i nas proporções referidas; β_0 é o intercepto; β_1 é a inclinação da linha de regressão; e ϵ_i é o erro aleatório da regressão linear simples. As análises de regressão foram realizadas utilizando o software Genes (CRUZ, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os caracteres estudados apresentaram efeitos genotípicos significativos nas populações em que foram avaliados, indicando que o processo seletivo pode ser realizado com sucesso (Tabela 1).

A maneira mais utilizada ao longo do tempo para aferir a qualidade de um

experimento tem sido o coeficiente de variação experimental (CV_e). Com exceção do valor desse parâmetro para número de sementes por vagem na população F5 (Tabela 1), os valores de CV_e das variáveis em todas as populações ficaram dentro dos limites relatados na literatura (FILHOL et al. 2009; ALMEIDA et al. 2011; NOGUEIRA et al. 2012; TEODORO et al. 2015). Assim a precisão experimental pode ser considerada alta.

Entretanto, o emprego do CV_e para avaliar a precisão de um experimento tem sido questionado, pois essa estimativa não leva em consideração o coeficiente de variação genética nem o número de repetições (RESENDE, 2007). Por isso, a estimativa da acurácia ($\hat{r}_{gg}$) é mais adequada para a avaliação da precisão uma vez que leva em consideração simultaneamente todos esses fatores. Esse autor conceitua acurácia como sendo um parâmetro que se refere à correlação entre o valor genotípico verdadeiro do material genético e aquele estimado ou predito com base das informações dos experimentos de campo. Neste contexto, quanto mais a estimativa da acurácia se aproximar da unidade, mais preciso é o experimento.

Os valores de acurácia obtidos variaram de alto ($>0,70$) a muito alto ($>0,90$) (Tabela 1), de acordo com os valores sugeridos por Resende e Duarte (2007) demonstrando que existe boa precisão experimental, portanto, pouca heterogeneidade no ambiente do estudo. Essa maior homogeneidade do ambiente é importante, pois evita que a superioridade visual de uma planta seja devido ao ambiente favorável em vez de sua superioridade genotípica.

As estimativas de herdabilidade para produção de grãos por plantas, usando como unidade de seleção plantas dentro do experimento [$h^2(ie)$], foram de baixa magnitude, como esperado para caracteres quantitativos (Tabela 1). Sendo de 0,240; 0,127 e 0,401 para as populações F3, F4 e F5, respectivamente. No entanto, como esses valores não foram iguais a zero, existe assim, a possibilidade de seleção de indivíduos superiores.

Tabela 1. Estimativas de quadrado médio de genótipos (QMg), média e parâmetros genéticos¹ para as características número de hastes laterais (NHP), número de vagens por planta (NVP), número de sementes por vagem (NSV) e produção de grãos por plantas (PROD) em três populações de soja avaliadas em condições de casa de vegetação

População F3				
	NVP	NSV	NHP	PROD (g/planta)
QMg	856,8842 **	0,33675 **	16,4140 **	45,8667 **
Média	43,433	2,160	3,967	18,263
$\sigma_g^2 (ef)$	132,567	0,051	2,197	5,641
$\sigma_g^2 (df)$	9,469	0,004	0,157	0,403
CVg(%)	26,509	10,415	37,370	13,005
CVe(%)	12,766	5,964	32,037	13,423
$h^2 (mf)$	0,928	0,902	0,803	0,738
$h^2 (df)$	0,070	0,230	0,070	0,024
$h^2 (ib)$	0,531	0,722	0,477	0,266
$h^2 (ie)$	0,521	0,722	0,456	0,240
$\hat{r}_{gg}$	0,963	0,949	0,896	0,859
População F4				
	NVP	NSV	NHP	PROD (g/planta)
QMg	273,6399 *	0,4028 **	6,1596 **	18,3896 *
Média	39,508	2,291	3,117	17,283
$\sigma_g^2 (ef)$	23,889	0,058	0,623	1,584
$\sigma_g^2 (df)$	0,796	0,002	0,021	0,053
CVg(%)	12,371	10,513	25,317	7,283
CVe(%)	20,431	7,230	35,324	12,195
$h^2 (mf)$	0,524	0,864	0,607	0,517
$h^2 (df)$	0,004	0,050	0,009	0,005
$h^2 (ib)$	0,110	0,573	0,216	0,127
$h^2 (ie)$	0,109	0,573	0,203	0,127
$\hat{r}_{gg}$	0,723	0,929	0,778	0,759
População F5				
	NVP	NSV	NHP	PROD (g/planta)
QMg	186,6333 **	5,3348 *	8,7655 *	59,0956 **
Média	34,682	2,520	3,730	16,499
$\sigma_g^2 (ef)$	20,325	0,503	0,771	7,556
$\sigma_g^2 (df)$	0,328	0,008	0,012	0,122
CVg(%)	12,999	28,147	23,538	16,661
CVe(%)	16,398	42,705	38,575	15,899
$h^2 (mf)$	0,653	0,566	0,528	0,767
$h^2 (df)$	0,005	0,003	0,007	0,013
$h^2 (ib)$	0,229	0,149	0,207	0,401
$h^2 (ie)$	0,229	0,146	0,207	0,401
$\hat{r}_{gg}$	0,808	0,752	0,726	0,719

¹Variância genética entre famílias ($\sigma_g^2 (ef)$); variância genética dentro de famílias ($\sigma_g^2 (df)$); coeficiente de variação genética [CVg(%)]; coeficiente de variação experimental [CVe(%)]; herdabilidade com base na média de famílias [$h^2 (mf)$]; herdabilidade com base na média dentro de famílias [$h^2 (df)$]; herdabilidade de indivíduo

dentro de bloco [$h^2(ib)$]; herdabilidade de indivíduo no experimento [$h^2(ie)$]; acurácia ($\hat{r}_{gg}$).

A eficiência das diferentes alternativas de seleção visual em identificar as plantas mais produtivas foi obtida por meio de regressão linear $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + e_i$. A seleção visual será capaz de identificar os indivíduos mais produtivos, se $\beta_0 = 0$ e $\beta_1 = 1$ estatisticamente, e se o coeficiente de determinação seja superior a 70%. Essa abordagem foi utilizada por Silva et al. (2015) para comparar a eficiência do método BLUP individual simulado (BLUPIS) na seleção dentro de famílias de cana-de-açúcar em relação ao método BLUP individual.

Os valores de coeficientes de determinação, até mesmo para seleção aleatória, foram maiores que 70% (Tabela 2), dessa forma a comparação entre os diferentes procedimentos de seleção ficaram restrito à significância dos valores de β_0 e β_1 .

Tabela 2. Estimativa do coeficiente de determinação associados a regressão linear entre o número de plantas de soja com maior massa de grãos e o número de plantas coincidentes obtidas pela seleção visual de cinco selecionadores com diferentes níveis de experiência com a cultura, levando como critério de escolha quatro característica da planta ¹

----- População F3 -----				
	NVP	NSV	NHP	VAG
Experiente	98,878	98,877	96,913	96,604
Intermediário -1	98,524	96,293	96,182	99,729
Intermediário -2	97,573	99,692	95,533	98,877
Inexperiente -1	98,826	99,593	96,089	97,669
Inexperiente - 2	99,738	97,168	99,412	92,182
Amostragem aleatória	83,73			
----- População F4 -----				
	NVP	NSV	NHP	VAG
Experiente	95,033	97,024	96,293	98,827
Intermediário -1	99,586	99,448	100,000	99,593
Intermediário -2	94,164	99,230	97,270	96,357
Inexperiente -1	98,592	98,489	93,591	96,273
Inexperiente -2	99,738	97,168	99,412	92,182
Amostragem aleatória	92,7			
----- População F5 -----				
	NVP	NSV	NHP	VAG
Experiente	99,593	99,184	98,765	97,919
Intermediário -1	99,586	99,448	100,000	99,593
Intermediário -2	98,182	99,661	96,659	99,412
Inexperiente -1	99,452	98,986	98,462	98,462
Inexperiente -2	98,370	99,655	99,206	99,625
Amostragem aleatória	88,43			

¹Número de vagens por planta (NVP); número de sementes por vagem (NSV); número de hastes (NHP); valor agrônômico (VAG).

Em algumas situações a seleção visual foi eficiente em identificar plantas mais produtivas, como a seleção de plantas pelo maior número de vagens pelo avaliador mais experiente nas populações F3 e F4, sendo superiores à seleção aleatória, que não atendeu aos critérios de eficácia em nenhuma população (Tabela 3). Isso indica que a seleção visual pode ser eficiente em algumas circunstâncias.

A seleção visual também foi mais eficaz do que a seleção aleatória na

identificação de linhagens de aveia (STUTHMAN e STEIDL, 1976) e de triticales (SALMON e LATTER, 1978).

Porém, para a cultura do arroz, Cutrim et al. (1997) constaram que progênies derivadas das plantas selecionadas visualmente na geração F2 e as oriundas aleatoriamente não diferiram quanto à produtividade de grãos, nas avaliações realizadas na geração F4. Esses autores relatam ainda que a falta de concordância desse estudo pode estar ligada à interação significativa entre os genótipos e ambiente, uma vez que, o ambiente em que as linhagens F2 foram selecionadas não foi o mesmo em que a geração F4 foi avaliada.

Tabela 3. Estimativa do intercepto (β_0) e a inclinação da reta de regressão (β_1) associados à regressão linear entre o número de plantas de soja com maior massa de grãos e o número de plantas coincidentes obtidas pela seleção visual de cinco avaliadores com diferentes níveis de experiência com a cultura levando como critério de escolha quatro característica da planta

População F3									
		NVP		NSV		NH P		VAG	
		β0	β1	β0	β1	β0	β1	β0	β1
Experiente		-2,0 *	0,758 *	-5,5 *	0,725	-7,0 *	0,633	-5,5 *	0,800 *
Intermediário -1		-4,5 *	0,733 *	-4,0 *	0,492	-9,0 *	0,767 *	-7,0	0,783
Intermediário -2		-5,0 *	0,717 *	-9,5	0,900 *	-6,0 *	0,508	-6,5 *	0,717
Inexperiente – 1		-7,5 *	0,858 *	-3,5 *	0,583	-7,5 *	0,658 *	-8,5 *	0,925 *
Inexperiente – 2		-2,0 *	0,780	-7,5 *	0,820 *	-2,0 *	0,520	-5,5 *	0,780 *
Amostragem aleatória		β0 = (-4,00*)							
		β1 = (0,425)							
População F4									
		NVP		NSV		NH P		VAG	
		β0	β1	β0	β1	β0	β1	β0	β1
Experiente		-6,0 *	0,742 *	-10,0 *	0,758 *	-4,0 *	0,492	-9,0	0,742
Intermediário -1		-4,0 *	0,633	-3,5 *	0,500	-3,0 *	0,417	-3,5 *	0,583
Intermediário -2		-2,0 *	0,525	-5,5 *	0,642	-5,0 *	0,558	-6,5 *	0,600
Inexperiente – 1		-4,0 *	0,683	-5,5 *	0,617	-6,0 *	0,642 *	-6,0 *	0,675 *
Inexperiente – 2		-2,0 *	0,650	-7,5 *	0,683 *	-2,0 *	0,433	-5,5 *	0,650 *
Amostragem aleatória		β0 = (-7,00*)							
		β1 = (0,533)							
População F5									
		NVP		NSV		NH P		VAG	
		β0	β1	β0	β1	β0	β1	β0	β1
Experiente		-4,5	0,583	-8,0	0,675	-3,05	0,333	-6,0 *	0,642
Intermediário -1		-4,0 *	0,633	-3,5 *	0,500	-3,0 *	0,417	-3,5 *	0,583
Intermediário -2		-4,0 *	0,600	-8,0	0,700	-2,5 *	0,375	-3,0 *	0,433
Inexperiente – 1		-3,0 *	0,550	-3,5 *	0,558	-4,5 *	0,400	-3,0 *	0,533
Inexperiente – 2		-3,5 *	0,542	-5,0	0,567	-3,5 *	0,417	-1,5 *	0,508
Amostragem aleatória		β0 = (-5,50*)							
		β1 = (0,408)							

* β_0 igual a 0 e β_1 igual a 1 pelo teste t de Student a 5% de probabilidade; número de vagens por planta (NVP); número de sementes por vagem (NSV); número de hastes (NHP); valor agrônômico (VAG).

Pelos resultados apresentados na Tabela 3, observa-se que ao contrário do que foi proposto por Gardner (1961); Méndez (1971) e Molina (1983), a uniformidade da área experimental por si só não garante sucesso na seleção visual, visto que, mesmo que todas as populações apresentem elevados níveis de acurácia (Tabela 1) a proporção das diferentes alternativas de seleção visual, que

demonstraram eficiência significativa, não foram as mesmas para todas as populações, sendo 50%, 30% e 0%, respectivamente para as populações F3, F4 e F5, indicando que outros fatores influenciam o processo.

Na Tabela 3 pode ser verificado que a eficiência da seleção visual variou entre os avaliadores. Essa não pode ser atribuída ao fato de cada avaliador ter utilizado um padrão próprio de escolha, uma vez que, os mesmos tinham sido previamente especificados.

Mesmo com essa variação não foi observada nenhuma influência do nível de experiência do avaliador no sucesso seletivo, havendo até mesmo um exemplo na população F3 em que o selecionador inexperiente - 1 conseguiu, por mais vezes, eleger as plantas mais produtivas que o selecionador mais experiente. No exemplo em questão o avaliador inexperiente - 1 obteve sucesso com a seleção para o número de vagens, número de hastes laterais e valor agrônomo, enquanto que o avaliador mais experiente foi bem sucedido apenas quando selecionou para número de vagens e valor agrônomo.

Cutrim et al. (1997) avaliando a eficiência da seleção visual na produtividade de grãos de arroz irrigado, também verificaram que os selecionadores diferiram na habilidade de identificar visualmente plantas produtivas e que esta habilidade não está associada à experiência com a cultura. Contudo, Bowman et al. (2004) verificaram que melhoristas com mais de trinta anos de experiência foram mais eficientes que selecionadores com quatro anos de experiência na seleção visual de progênie de algodão.

Entre as características relacionadas com a capacidade produtiva da soja, a que proporcionou que um maior número de selecionadores identificasse visualmente os indivíduos mais produtivos foi o número de vagens por planta na população F3, possibilitando a eficácia de 80% dos avaliadores. Essa porcentagem cai para 20% na população F4 e para 0% na população F5.

Estudando a eficiência visual em populações F3 de grão-de-bico, Dahiya et al. (1984) também observaram que o número de vagens por planta, é o mais importante componente de rendimento para essa cultura, e que foi o critério que proporcionou a seleção das linhagens mais produtivas. A conclusão, entretanto, não pode ser extrapolada para todos os casos. A seleção visual para características

associadas à produção, por exemplo, não gerou mudanças correlacionadas no rendimento de grãos de trigo de inverno (UD-DIN et al., 1993).

Blanche et al. (2009) observaram que a eficiência da seleção visual será maior quanto maior for o desvio padrão fenotípico, indicando que a capacidade de percepção visual de uma característica, e portanto, o sucesso seletivo, dependerá do nível de variação fenotípico da mesma.

Uma vez que os valores fenotípicos observados experimentalmente estão associados com os valores genotípicos, como demonstrado pelos elevados níveis de acurácia (Tabela 1). A queda expressiva na eficiência seletiva pode estar relacionada com a magnitude da variância genética do número de vagens em cada população, sendo de 132,56; 23,88 e 20,32 nas populações F3, F4 e F5, respectivamente (Tabela 1). Assim, quanto maior a variância genotípica de uma população para um determinado caráter, maior a possibilidade de sucesso com a seleção visual, fato que, corrobora com Kohel e White (1963) e Thomson (1973).

Esses resultados demonstram que dependendo da magnitude da variância genética em uma população, desde que exista uniformidade nas condições experimentais, a seleção visual indireta para produtividade de soja, via número de vagens pode ser eficiente, mesmo no atual nível em que se encontra o melhoramento da soja.

A segunda característica, usada como critério de seleção, que proporcionou que maior número de selecionadores identificassem visualmente os indivíduos mais produtivos foi o valor agrônomo das plantas de soja. Este é um atributo adicional resultante da combinação de todas as demais características relacionadas à produtividade, como o número de vagens, número de sementes por vagem, altura da planta, susceptibilidade ao acamamento, resistência a doenças, resistência à debulha, entre outras.

Seguindo esse critério para seleção visual, obteve-se eficácia, na população F3 de 60% dos avaliadores, na geração F4, o mesmo proporcionou eficiência de 40% dos selecionadores ao lado do número de sementes por vagem, demonstrando a possibilidade do uso desse critério na seleção visual em populações de soja visando incremento de produção (Tabela 3).

O resultado corrobora com Lopes et al. (2001), que afirmam, que mediante

a seleção visual, o valor agronômico pode representar aumento de eficiência na seleção de melhores genótipos, principalmente nas avaliações iniciais de produtividade, quando, geralmente, se tem grande número de genótipos, o que contribuirá para reduzir o tempo e os recursos despendidos na fase inicial de avaliação.

CONCLUSÕES

Os selecionadores diferem-se na habilidade de identificar visualmente plantas mais produtivas, todavia, essa diferença não está associada à experiência com a cultura.

Em condições de uniformidade das condições experimentais e variabilidade genética satisfatória, o número de vagens por planta de soja é a característica que mais auxilia a seleção visual, na busca por indivíduos mais produtivos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, R. D.; PELÚZIO, J. M.; AFFÉRI, F. S. Divergência genética entre cultivares de soja, sob condições de várzea irrigada, no sul do Estado Tocantins. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 108-115, 2011.

BÁRBARO, I. M.; CENTURION, M. A. P.; MAURO, A. O. D.; UNÊDA-TREVISOLI, S. H.; COSTA, M. M.; MUNIZ, F. R. S.; SILVEIRA, G. D.; SARTI, D. G. P. Variabilidade e correlações entre produtividade de grãos e caracteres agronômicos de soja com aptidão para cultivo em áreas para reforma de canavial. **Científica, Jaboticabal**, v.35, n.2, p. 136-145, 2007.

BLANCHE, S. B.; SHA, X.; LINSCOMBE, S. D.; GROTH, D. E.; DILLY JR, R. R. Visual estimation of rice (*Oryza sativa* L.) grain yield in multiple environments in Louisiana. **Journal of New Seeds**, v. 10, n. 2, p. 74-87, 2009.

BOWMAN, D. T.; BOURLAND, F. M.; MYERS, G. O.; WALLACE, T. P.; CALDWELL, D. Visual selection for yield in cotton breeding programs. **Journal of Cotton Science**, v. 8, n.2, p. 62-68. 2004.

BYTH, D. E.; WEBER, C. R.; CALDWELL, B. E. Correlated truncation selection for yield in soybeans. **Crop Science**, v. 9, n.2, p. 699-702, 1969.

CRUZ, C. D. GENES - A software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**. v.35, n.3, p.271-276, 2013.

CUTRIM, A. V.; RAMALHO, MAGNO, A. P.; CARVALHO, A. M. Eficiência da seleção visual na produtividade de grãos de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 6, p. 601-606, 1997.

DAHIYA, B. S.; WALDIA, R. S.; KAUSHIK, L. S.; SOLANKI, I. S. Early generation yield testing versus visual selection in chickpea (*Cicer arietinum* L.). **Theoretical and applied genetics**, v.68, n.6, p.525-529. 1984.

ENGLEDOW, F. L.; WADHAM, S. M. Investigation on yield in the cereals II: a spacing experiment with wheat. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 15, n. 2, p. 390-439, 1925.

FILHOI, A. C.; EVANGELISTAI, D. H. R.; STORCKI, E. C. P. G. L. Tamanho de amostra de caracteres de genótipos de soja. **Ciência Rural**, v. 39, n.4, p. 983-991, 2009.

GARDNER, C. O. An evaluation of effects of mass selection and seed irradiation with thermal neutrons on yield of corn. **Crop Science**, v. 1, n. 2, p. 124-245, 1961.

IQBAL, S.; MAHMOOD, T.; MUHAMMAD, T.A.; MUHAMMAD, A.; MUHAMMAD, S. Path coefficient analysis in different genotypes of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). **Pakistan Journal of Biological Science**, v. 12, p. 1085-1087, 2003.

KHAN A. M.; HATAM M.; KHAN A. Heritability and interrelationship among yield determining components of soybean varieties. **Journal of Agricultural Research**, v. 116, p. 5-8. 2000.

KOHEL, R. J.; WHITE, T. G. An analysis of the variability of five parents and their F1 progenies in *Gossypium hirsutum* L. **Crop Science**, v. 3, n. 1, p. 359-361, 1963.

LOPES, Â. C. A.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, R. B. Q.; CAMPOS, F. L.; MOURA ROCHA, M. Variabilidade e correlações entre caracteres agrônômicos em caupi (*Vigna unguiculata*). **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 36, n. 3, p. 515-520. 2001.

MARQUES, R. F.; SOUZA, J. C.; RAMALHO, M. A. P.; RIBEIRO, P. H. E. Avaliação da eficiência da seleção visual para produção de grãos de milho. In:

CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 23., 2000, Uberlândia. **Resumos...** Uberlândia: ABMS, 2000. 1 CD-ROM.

MÉNDEZ, R. I. Refinamiento a la técnica de selección masal moderna. **Agrociencia**, v. 6, n. 1, p. 87-91, 1971.

MOLINA, J. D. **Selección masal visual estratificada en maíz**. Chapingo: Centro de Genética, 1983. 36 p. Publicación Especial.

NOGUEIRA, A. P. O.; SEDIYAMA, T.; SOUSA, L. B.; HAMAWAKI, O. T.; CRUZ, C. D.; PEREIRA, D. G.; MATSUO, E. Análise de trilha e correlações entre caracteres em soja cultivada em duas épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 6, p. 877-888, 2012.

HAMAWAKI, O. T., VELLO, N. A., HAMAWAKI, R. L. Seleção de progênies superiores em cruzamentos óctuplos de soja. **Bioscience Journal**, v. 18, n. 2, 2006.

RESENDE, M. D. V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 560 p.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 1, p. 182-194, 2007.

SALMON, D. F.; LARTER, E. N. Visual selection as a method for improving yield of triticale. **Crop Science**, v. 18, n. 3, p. 427-430. 1978.

SEDIYAMA, T.; SILVA, F. L.; BORÉM, A. (2015). **Soja: do Plantio à Colheita**. Viçosa: Editora UFV, 2015. 333 p.

SHEBESKI, L. H. Wheat and breeding. In: NIELSEN, K. F. (Ed.). **Proceedings Canadian Centennial Wheat Symposium**. Canadá: Modern, 1967. p. 249-272.

SILVA, F. L. D.; BARBOSA, M. H. P.; RESENDE, M. D. V.; PETERNELLI, L. A.; PEDROZO, C. A. Efficiency of selection within sugarcane families via simulated individual BLUP. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 15, n. 1, p. 1-9, 2015.

STUTHMAN, D. D.; STEIDL, R. P. Observed gain from visual selection for yield in diverse oat populations. **Crop Science**, v. 16, n. 1, p. 262-264. 1976.

TEODORO, P. E.; RIBEIRO, L. P.; CORRÊA, C. C. G.; LUZ, R. A. A. J.; SANTOS ZANUNCIO, A., CAPRISTO, D. P., TORRES, F. E. Path analysis in soybean genotypes as function of growth habit. **Bioscience Journal**, v. 31, n.3, p. 794-799, 2015.

THOMSON, N. J. Intra-varietal variability and response to single plant selection in *Gossypium hirsutum* L. I. Phenotypic variability, **Journal of Agricultural Science**, v. 80, n. 1, p. 135- 145. 1973.

TOWNLEY-SMITH, T. F.; HURD, W. A. Use of moving means in wheat yields trials. **Canadian Journal of Plant Sciences**, Ottawa, v. 53, n. 3, p. 447-450, 1973.

UD-DIN, N.; CARVER, B. F.; KRENZER, E. G. Visual selection for forage yield in winter wheat. **Crop Science**, v. 33, n. 1, p. 41-45. 1993.

WEATHERWAX, E. I. **Indian corn in old America**. New York: Macmillan, 1954. 253 p.

CAPÍTULO 3

SELEÇÃO INDIRETA PARA RENDIMENTO DE GRÃOS EM SOJA VIA CAPACIDADE DE RAMIFICAÇÃO

RESUMO

SILVA, Francisco Charles dos Santos. D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2017. **Rede de correlações, eficiência da seleção visual e indireta via capacidade de ramificação e de índices de seleção em soja.** Orientador: Tuneo Sedyama. Coorientadores: Cosme Damião Cruz e Felipe Lopes da Silva.

Com a estagnação da produtividade da soja brasileira na última década, é necessária a busca por estratégias diferentes no desenvolvimento de novas variedades de soja. Desse modo, objetivou-se com este trabalho estimar parâmetros genéticos para o número de hastes laterais de soja, medir a eficiência da seleção de genótipos com maior capacidade de ramificação na busca por materiais mais produtivos e verificar a influência dessa seleção em outras características importantes para a cultura. Para tanto, foram conduzidas três populações distintas de soja (F3, F4 e F5), cada uma contendo 20 famílias, em delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições. Posteriormente, essas populações tiveram seus ganhos estimados comparados com

o ganho realizado nas gerações seguintes, que foram conduzidas em campo experimental, em blocos casualizados. Concluiu-se que existe variabilidade genética para capacidade de emissão de ramos laterais em soja. Nas populações de soja analisadas, a seleção para o aumento do número de hastes laterais resulta em materiais mais tardios. Para o conjunto gênico analisado, a seleção de genótipos de soja visando elevar a capacidade de ramificação auxilia na identificação por materiais mais produtivos, não sendo eficiente, entretanto, em genótipos de hábito de crescimento horizontal.

Palavras-chave: produtividade, hastes laterais, componentes de rendimento, *Glycine max* (L.) Merrill.

ABSTRACT

SILVA, Francisco Charles dos Santos. D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2017. **Network of correlations, efficiency of visual and indirect selection through branch capacity and selection indexes in soybean.** Adviser: Tuneo Sedyama. Co-advisers: Cosme Damião Cruz and Felipe Lopes da Silva

With the stagnation of Brazilian soybean productivity in the last decade, it is necessary to search for different strategies in the development of new soybean varieties. Thus, the objective of this work was to estimate genetic parameters for the number of lateral soybean stems, to measure the efficiency of selection of genotypes with greater branching ability in the search for more productive materials and to verify the influence of this selection on other characteristics important for The culture. Three different soybean populations (F3, F4 and F5), each containing 20 families, were conducted in a randomized complete block design with four replicates. Subsequently, these populations had their estimated

gains compared to the gain achieved in subsequent generations, which were conducted in an experimental field, in randomized blocks. It was concluded that there is genetic variability for the lateral branch emission capacity in soybean. In the soybean populations analyzed, selection for increasing the number of lateral stems results in later materials. For the genotype analyzed, the selection of soybean genotypes aiming to increase the branching capacity assists in the identification by more productive materials, but it is not efficient, however, in genotypes with a horizontal growth habit.

Key-words: productivity, lateral branching, yield components, *Glycine max*.

INTRODUÇÃO

A cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) tem grande relevância no cenário econômico e de abastecimento, principalmente nos países líderes na produção e exportação de soja, como Estados Unidos, Brasil e Argentina (SEAB, 2015). Grande parte do aumento da produção e da capacidade competitiva da soja brasileira está associada ao melhoramento visando à obtenção de cultivares com alta produtividade e ampla adaptação.

Entretanto, no Brasil, a produtividade média da soja está estagnada em cerca de 2.800 kg/ha desde a última década (CONAB, 2016). Diversos fatores contribuíram para isso como, a entrada da ferrugem-asiática nas lavouras na safra 2001/2002, a elevada pressão nematoide, e principalmente a utilização de cultivares mais precoces para possibilitar o plantio da segunda safra. Uma das maneiras de solucionar o problema seria a obtenção de cultivares que atendessem às exigências agrícolas vigentes e que fossem mais produtivas.

Essencialmente existem duas estratégias básicas para o desenvolvimento de novas variedades de soja. A primeira consiste no aumento da capacidade produtiva pela seleção de plantas com maior massa média de grãos, elevado

número de vagens e/ou maior número de sementes por vagem.

Contudo, essa estratégia mostra algumas falhas. Nogueira et al. (2012) afirmaram ser a seleção via massa média dos grãos a responsável por reduzir consideravelmente o número de sementes por vagem e o número de vagens por planta, pois, quanto menor o número de vagens por planta, maior é a disponibilidade de fotoassimilados produzidos pela planta para o enchimento dos grãos. Deste modo, a seleção baseada nesses componentes de produção pode comprometer ganhos em produtividade.

A segunda estratégia para o desenvolvimento de plantas mais produtivas busca o aumento da produção de biomassa total, tanto da parte vegetativa quanto da reprodutiva, sem alterar a relação entre elas, resultando assim, na modificação da arquitetura da planta.

Considerando que o modelo matemático que explica a produção de grãos em uma planta de soja é dado por: $P = NV \times NSV \times PMS$ em que, P corresponde à produção por planta, NV ao número de vagens por planta, NSV ao número de sementes por vagem e PMS ao peso médio de uma semente, podem ser obtidos incrementos na produtividade com aumento do número de vagens por planta a partir do aumento do número de nós. O incremento dessa última característica pode ser obtido com a seleção de plantas com maior capacidade de emissão de ramos laterais. Dessa forma, a busca por genótipos com maior capacidade de ramificação poderão resultar em variedades mais produtivas.

Para Verneti (1983), a capacidade genética da soja para produzir pode ser expressa por certos caracteres morfológicos da planta, dentre eles, o número de ramificações, número de vagens por ramificação e o número de sementes por ramificação.

Evidência de variabilidade genética em soja para capacidade de ramificação foram encontradas em estudos realizados por Nelson (1996), Bangar et al. (2003), Basavaraja (2002) e Barros et al. (2016).

Apesar da importância explícita da capacidade de emissão de ramos laterais no melhoramento de soja, os trabalhos disponíveis na literatura são escassos e não concisos quanto a parâmetros genéticos da característica, quanto a sua eficiência de seleção na busca por genótipos mais produtivos, e quanto aos

efeitos que tal seleção acarretaria em outras características de importância agrônômica.

A estimação de parâmetros genéticos, como herdabilidade, e variâncias genotípicas, fenotípicas e de ambiente, permitem ao melhorista obter informações sobre a natureza dos genes envolvidos no controle dos caracteres de interesse e definir a melhor estratégia a ser adotada no melhoramento de uma determinada população (CRUZ e CARNEIRO, 2006).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi estimar parâmetros genéticos para a capacidade de ramificação na soja, medir a eficiência da seleção de genótipos mais ramificados na busca de materiais mais produtivos e verificar a influência dessa seleção em outras características de importância agrônômica.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi dividido em duas etapas. Na primeira, realizada em casa de vegetação, foram utilizadas três populações distintas de soja (F3, F4 e F5), cada uma com 20 famílias, provenientes do programa de melhoramento da UFV. Cada uma das populações formava um experimento que foi conduzido em delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições, sendo cada unidade experimental constituída de um vaso com duas plantas.

Em cada população foram mensurados a produção de grãos por parcela (g), altura de plantas (cm), o número de hastes laterais, o número de vagens por planta, o número de sementes por vagem, a massa de cem grãos e o número de dias para maturação.

Foram realizadas análises de variância para verificar a existência de variabilidade genética que possibilitasse a seleção. Posteriormente, em cada uma das três populações, foram identificados os 50% dos genótipos com maior capacidade de ramificação e a mesma porcentagem dos genótipos com menor capacidade de emitir ramos laterais.

Na segunda etapa, para estimar a eficiência de seleção para capacidade de ramificação em soja, as três populações, cada uma com suas 20 famílias, foram

avanzadas uma geração em condições de campo, sendo conduzidos, dessa forma, mais três experimentos (F4, F5 e F6).

O delineamento experimental foi de blocos casualizados com quatro repetições. Cada parcela experimental foi composta de uma linha com 1,5 metro de comprimento, espaçada a 0,5 metros da parcela vizinha. Adotou-se um estande final de 10 plantas por metro linear, sendo utilizado como parcela útil o metro central da parcela, descartando 0,25 metros de cada extremidade.

Previamente às sementeiras, as sementes foram tratadas com fungicida carbendazin na dose equivalente a 60 ml.100 kg⁻¹ de sementes e, em seguida, submetidas à inoculação com *Bradyrhizobium japonicum*. O controle de pragas e doenças foi realizado de acordo com as recomendações para a cultura da soja (SEDIYAMA, et al., 2015).

A partir dos valores de quadrado médio obtidos das análises de variância, foram estimadas a variância genotípica média ($\hat{\sigma}_g^2$), variância ambiental média ($\hat{\sigma}_e^2$), coeficiente de variação genético [$CV_g(\%)$], a razão entre coeficiente de variação genética e ambiental (CV_g/CV_e) e a herdabilidade média (h^2) pelas seguintes equações:

Variância genotípica média:

$$\hat{\sigma}_g^2 = \frac{QMG - QME}{r} \text{ onde,}$$

QMG: quadrado médio de genótipo;

QME: quadrado médio do resíduo;

r: número de repetições;

Variância ambiental média:

$$\hat{\sigma}_e^2 = \frac{QME}{r}$$

Coeficiente de variação genético:

$$CV_g(\%) = \frac{(100 \times \sqrt{\hat{\sigma}_g^2})}{m} \text{ onde,}$$

m: média;

Razão entre coeficiente de variação genética e ambiental:

$$CV_g / CV_e$$

Herdabilidade média:

$$h^2 = \frac{\hat{\sigma}_g^2}{\hat{\sigma}_f^2}$$

Para o cálculo de estimativas dos progressos genéticos, utilizou-se como critério de seleção, a seleção indireta.

O ganho estimado pela seleção indireta do caráter “j”, pela seleção no caráter “i”, foi dado por $GS_{j(i)} = DS_{j(i)} h_j^2$, em que $DS_{j(i)}$ é o diferencial de seleção indireto obtido em função da média do caráter “j” daqueles indivíduos cuja superioridade foi evidenciada para o caráter “i”, sobre o qual se praticou a seleção direta.

A eficiência da predição do ganho foi verificada pela sua concordância em magnitude e sentido com o ganho realizado.

Por sua vez, a estimativa do ganho realizado no caráter “j”, pela seleção no caráter “i”, foi obtida por: $GSr_{j(i)} = (\bar{X}S_{j(i)Fz+1} - \bar{X}O_{jFz})$, em que $\bar{X}S_{j(i)Fz+1}$ é a média das linhagens Fz+1 selecionadas em Fz para o caráter “j”, com seleção em “i”, e $\bar{X}O_{jFz}$ é a média original para o caráter “j” na geração Fz.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o Microsoft Office Excel® e o Programa Genes (Aplicativo computacional em genética e estatística) (CRUZ, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados na Tabela 1 mostram que houve diferença significativa a 1% ou a 5% de probabilidade nas médias da maioria dos caracteres analisados. O que evidencia a ocorrência de variabilidade entre os genótipos

avaliados e também, a possibilidade na utilização desses na obtenção de materiais superiores para os caracteres em estudo.

Tabela 1. Resumo das análises de variância, coeficiente de variação experimental [CV(%)] e estimativas de acurácia ($\hat{r}_{gg}$) para a produção de grãos por parcela (PROD), número de hastes laterais (NH), altura de plantas (AP), número de vagens por planta (NVP), número de sementes por vagem (NSV), massa de cem grãos (M100GR) e número de dias para maturação (NDM), de três populações de soja

População F3														
----- Quadrado Médio -----														
FV	PROD		NH		AP		NVP		NSV		M100GR		NDM	
Blocos	35,532		4,371		1138,703		173,7167		0,0056		28,6322		397,6778	
Tratamentos	29,960	**	8,770	**	4082,476	**	456,8868	**	0,2018	**	23,7493	ns	856,2632	*
$\hat{r}_{\hat{g}g}$	0,8914		0,8998		0,9023		0,8545		0,9531		0,6472		0,9712	
CV(%)	13,510		33,020		16,250		24,25		6,29		19,74		4,38	
População F4														
----- Quadrado Médio -----														
FV	PROD		NH		AP		NVP		NSV		M100GR		NDM	
Blocos	0,923		4,553		57,644		112,4292		0,024		1,5835		432,9405	
Tratamentos	8,974	**	3,401	*	1083,698	**	136,82	**	0,2013	*	7,6594	**	469,5101	*
$\hat{r}_{\hat{g}g}$	0,5164		0,7590		0,8353		0,7237		0,9288		0,6203		0,8090	
CV(%)	10,250		42,010		11,380		20,43		7,26		12,58		7,51	
População F5														
----- Quadrado Médio -----														
FV	PROD		NH		AP		NVP		NSV		M100GR		NDM	
Blocos	9,991		2,353		356,346		120,412		0,009		11,589		281,895	
Tratamentos	28,034	**	4,947	*	1555,19	**	414,125	**	0,158	**	58,594	**	583,578	*
$\hat{r}_{\hat{g}g}$	0,8352		0,6905		0,8570		0,9625		0,9493		0,9603		0,9051	
CV(%)	18,570		41,410		13,280		12,47		5,81		10,52		5,93	

*, ** significativos a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F respectivamente.

Os valores de coeficiente de variação encontrados para a produção de grãos, altura de plantas, o número de hastes laterais, número de vagens por planta, número de sementes por vagem, massa de cem grãos e número de dias para maturação (Tabela 1), assumiram valores aceitáveis visto que estão abaixo dos valores encontrados por Okonkwo e Idahosa (2013) e de acordo com os determinados por Barros et al., (2016). Tendo isso, a precisão experimental pode ser considerada alta.

A qualidade dos experimentos é reforçada pelos valores de acurácia obtidos, que, com exceção da produção e grãos da massa de cem grãos na população F4, variaram de alta (>0,70) a muito alta (>0,90) (Tabela 1), de acordo com os valores sugeridos por Resende e Duarte (2007).

As estimativas dos parâmetros genéticos obtidas para as variáveis avaliadas nas três populações de soja são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Estimativa dos componentes da variância e parâmetros genéticos dos caracteres produção de grãos por parcela (PROD), número de hastes laterais (NH), altura de plantas (AP), número de vagens por planta (NVP), número de sementes por vagem (NSV), massa de cem grãos (M100GR) e número de dias para maturação (NDM), de três populações de soja

População F3							
Parâmetros genéticos*	PROD	NH	AP	NVP	NSV	M100GR	NDM
$\hat{\sigma}_g^2$	5,9506	1,775	879,760	111,191	0,061	-	269,229
$\hat{\sigma}_e^2$	6,1581	1,669	563,434	123,313	0,018	-	48,5757
CVg(%)	13,280	34,06	20,310	23,03	11,43	-	10,31
CVg/CVe	0,98	1,03	1,25	0,95	1,82	-	2,35
h^2 (%)	79,450	80,97	86,200	73,01	90,84	-	94,33
População F4							
Parâmetros genéticos*	PROD	NH	AP	NVP	NSV	M100GR	NDM
$\hat{\sigma}_g^2$	1,4635	0,4279	203,503	23,889	0,0579	0,9824	102,434
$\hat{\sigma}_e^2$	3,1202	1,6891	269,682	65,1529	0,0276	4,7122	162,207
CVg(%)	7,020	21,140	9,890	12,37	10,5	5,74	5,97
CVg/CVe	0,68	0,50	0,87	0,61	1,45	0,46	0,79
h^2 (%)	65,230	50,330	75,110	52,38	86,27	38,48	65,45
População F5							
Parâmetros genéticos*	PROD	NH	AP	NVP	NSV	M100GR	NDM
$\hat{\sigma}_g^2$	4,5066	0,5885	302,467	127,896	0,0477	18,0126	159,38
$\hat{\sigma}_e^2$	10,0074	2,5834	345,323	30,4344	0,0157	4,556	105,42
CVg(%)	12,460	19,760	12,430	25,57	10,13	20,92	7,29
CVg/CVe	0,67	0,48	0,94	2,05	1,74	1,99	1,23
h^2 (%)	64,300	47,680	77,800	92,65	90,12	92,22	81,93

*: $\hat{\sigma}_g^2$: Variância genotípica média; $\hat{\sigma}_e^2$: Variância ambiental média; CVg(%): Coeficiente de variação genético; CVg/CVe: razão entre coeficiente de variação genética e ambiental; h^2 : herdabilidade média.

A produção de grãos é o caráter mais importante a ser considerado em um programa de melhoramento de soja, sendo o mesmo condicionado pelo número de vagens por planta, pelo número de sementes por vagem e pela massa de cem grãos. Todavia, segundo Sedyama et al. 2005 outros caracteres como a altura de plantas e o ciclo da variedade, devem ser levados em consideração para tornar o genótipo selecionado mais competitivo e de fácil manejo.

Para a maioria dessas variáveis, em todas as populações analisadas, a razão entre a variância genética e a variância residual foi superior a um, ou muito próximo a um, existindo, assim, possibilidades de ganhos para as mesmas por meio de seleção (Tabela 2).

Para a capacidade de ramificação, a maior estimativa de variância genética foi obtida para a população F3 (Tabela 2), sendo esse superior à variância residual, indicando que nessa população há condições favoráveis para seleção e melhoramento desse caráter, uma vez que, quanto maior a variação genética, maiores são as possibilidades de ganhos genéticos com a seleção.

O coeficiente de variação genético é outro parâmetro que auxilia o pesquisador na elaboração de estratégias mais eficazes de seleção. Esse parâmetro possibilita fazer inferências sobre a variabilidade genética entre os diferentes caracteres, auxilia na seleção de genótipos superiores e permite comparar os níveis de variabilidade genética presente em diferentes genótipos, ambientes e caracteres (FERRÃO et al., 2008).

Entre as variáveis analisadas, a capacidade de ramificação obteve os maiores valores de coeficiente de variação genético nas populações F3 e F4 (34,06% e 21,14% respectivamente) (Tabela 2).

A elevada estimativa de variância genética e do coeficiente de variação genético para o número de hastes laterais na população F4, demonstram a existência de variabilidade genética para capacidade de emissão de hastes laterais em soja legitimando os trabalhos de Nelson (1996), Basavaraja (2002), Bangar et al. (2003), Sayama et al. (2010) e Barros et al. (2016). Entretanto esse nível de variabilidade é dependente da população a ser considerada.

Outro parâmetro genético de extrema importância no melhoramento genético é a herdabilidade. Elevadas estimativas desse parâmetro indicam a possibilidade de selecionar genótipos superiores com maior segurança (Oliveira et al., 2015).

A maior estimativa de herdabilidade para o número de hastes laterais foi obtido na população F3 (80,97%), sendo esta superior à encontrada para a produção por planta e para o número de vagens. Essas estimativas foram superiores à obtida por Bangar et al. (2003), Basavaraja et al. (2005) e Okonkwo e

Idahosa (2013). Havendo, portanto, expectativa de ganhos com a seleção de genótipos mais ramificados e mais produtivos.

Diante da possibilidade de sucesso na seleção de materiais mais ramificados, estimou-se a influência dessa seleção em alguns caracteres de importância agronômica.

É importante ressaltar que todas as estimativas de ganho de seleção estão superestimadas, uma vez que foram calculadas considerando-se da herdabilidade no sentido amplo. Contudo, esse fato não irá interferir nos resultados, já que as características em todas as populações utilizadas estarão sujeitas a esse mesmo problema de estimação, fato semelhante descrito por Costa et al. (2004), em seu estudo em que comparou diferentes critérios de seleção em populações segregantes de soja.

A seleção visando aumentar a capacidade de ramificação da soja resultou na predição de ganhos positivos de 4,76% e 0,75% para a produção de grãos das populações F3 e F4, respectivamente (Tabela 3). Em feijão (*Phaseolus vulgaris*), Barili et al. (2010) já haviam observado que existe um incremento linear na produtividade de grãos com o aumento no número de ramos por planta.

Tabela 3. Ganhos genéticos preditos em porcentagem (GS %) para a produção de grãos por planta (PROD), número de hastes laterais (NH), altura de plantas (AP), número de vagens por planta (NV), número de sementes por vagem (NSV), peso de cem grãos (PCS) e número de dias para maturação (DM), a partir da seleção de 50% das melhores famílias em três populações de soja

População F3							
Parâmetros	PROD	NH	AP	NVP	NSV	M100GR	NDM
$\bar{X}_o$	18,300	3,910	146,040	45,780	2,160	-	159,160
$\bar{X}_S^+$	19,398	5,063	157,575	53,300	2,098	-	170,136
$\bar{X}_S^-$	17,340	2,763	134,506	38,267	2,226	-	148,184
%Gs+	4,768	23,866	6,809	11,993	-2,591	-	6,505
%Gs-	-4,166	-23,763	-6,808	-11,982	2,770	-	-6,505
População F4							
Parâmetros	PROD	NH	AP	NVP	NSV	M100GR	NDM
$\bar{X}_o$	17,430	3,090	144,260	39,510	2,290	17,250	169,490
$\bar{X}_S^+$	17,633	3,800	151,998	43,267	2,334	17,152	174,118
$\bar{X}_S^-$	17,224	2,388	136,525	35,750	2,247	17,356	164,868
%Gs+	0,760	11,564	4,029	4,980	1,672	-0,219	1,787
%Gs-	-0,771	-11,442	-4,027	-4,985	-1,620	0,236	-1,785
População F5							
Parâmetros	PROD	NH	AP	NVP	NSV	M100GR	NDM
$\bar{X}_o$	17,030	3,880	139,880	44,230	2,160	20,290	173,210
$\bar{X}_S^+$	15,916	4,713	141,675	41,433	2,168	21,643	175,561
$\bar{X}_S^-$	17,794	3,000	135,463	45,917	2,184	19,182	167,510
%Gs+	-4,207	10,232	0,998	-5,858	0,355	6,151	1,112
%Gs-	2,885	-10,816	-2,457	3,533	1,016	-5,035	-2,696

Em que: $\bar{X}_o$: média da população original; $\bar{X}_S^-$: média da população com menor capacidade de ramificação; $\bar{X}_S^+$: Média da população selecionada com maior capacidade de ramificação; (%Gs+): ganho esperado, em porcentagem, com seleção para maior capacidade de ramificação; (%Gs-): ganho esperado, em porcentagem, com seleção para menor capacidade de ramificação.

O incremento para a produção de grãos é devido principalmente ao valor de ganhos preditos para o número de vagens por planta, que ficou na ordem de 11,89% na população F3 e 4,9% na população F4 (Tabela 3). Segundo Nogueira et al. (2012) e Silva et al. (2015) o número de vagens é o componente de maior peso na composição da produtividade da soja.

Entretanto, o incremento no número de vagens por planta, com a seleção

positiva para o número de hastes laterais é acompanhada da redução para o número sementes por vagem, em F3, e da massa de cem grãos, em F4 (Tabela 3).

Tais resultados podem indicar oposição destas características, ou seja, quando uma planta produz um grande número de vagens, a necessidade de fotoassimilados para a formação todos os grãos nas vagens ou para o enchimento de todos os grãos, é muitas vezes, maior do que a planta possui. Tal efeito de compensação da distribuição de fotoassimilados na planta de soja já havia sido relatado por Silva et al. (2015).

A seleção dos genótipos com maior número de hastes laterais na soja também levou à predição de ganhos positivos para altura de plantas e para o número de dias para maturação, em todas as populações estudadas (Tabela 3). Um maior número de hastes laterais em genótipos mais tardios pode estar relacionado ao maior tempo disponível à planta para formação dessas estruturas antes de entrar na fase de maturidade fisiológica.

Esse fato vai de encontro ao que é buscado pelo melhoramento de soja em praticamente todas as regiões produtoras do Brasil, que é a criação de cultivares mais precoces a fim de viabilizar a segunda safra na mesma área.

A previsão de redução da produção de grãos com a seleção de matérias mais ramificados na população F5 deve-se ao fato das famílias dessa população possuírem hábito de crescimento horizontal, ou seja, possuem o ângulo de abertura das hastes laterais maior que 60°. Nessa condição, as hastes laterais das plantas ficam muita abertas, o que provoca o aumento da competição entre as plantas por luz, reduzindo a sua capacidade produtiva, problema que é agravado com o aumento do número de hastes laterais.

A seleção buscando reduzir a capacidade de ramificação das plantas resultou em efeitos opostos aos observados quando se buscou elevar o número dessa estrutura.

Para as gerações F3 e F4 foram prenunciadas reduções nas médias de produção de grãos por planta, o que se deve à perda do número de vagens por planta. Já na geração F5 houve previsão de incremento de 28,85% para produção de grãos, o que pode ter ocorrido devido à redução da competição intraespecífica por luz causada pelo excesso de hastes prostradas nessa população.

De posse dos valores preditos (Tabela 3) e dos obtidos experimentalmente (Tabela 4), verifica-se que não houve concordância entre o que se esperava e o que se constatou experimentalmente ao selecionar plantas de soja mais ou menos ramificadas, exceto para o número de dias para a maturação.

Tabela 4. Ganhos realizados em porcentagem (GS %) para a produção de grãos por planta (PROD), número de hastes laterais (NH), altura de plantas (AP), número de vagens por planta (NV), número de sementes por vagem (NSV), massa de cem grãos (M100GR) e número de dias para maturação (NDM), a partir da seleção de 50% das melhores famílias em três populações de soja

População F3 para F4							
Parâmetros	PROD	NH	AP	NVP	NSV	M100GR	NDM
$\bar{X}_{F4}$	26,1927	4,9437	109,772	49,825	2,251	-	160,625
$\bar{X}_o$	18,300	3,910	146,040	45,780	2,160	-	159,160
$\bar{X}_S^+$	27,712	5,713	120,756	58,488	2,007	-	171,325
$\bar{X}_S^-$	24,673	4,175	98,789	41,163	2,496	-	149,925
%Gs+	51,434	46,100	-17,313	27,758	-7,103	-	7,643
%Gs-	34,825	6,777	-32,355	-10,086	15,567	-	-5,802
População F4 para F5							
Parâmetros	PROD	NH	AP	NVP	NSV	M100GR	NDM
$\bar{X}_{F5}$	37,7119	5,768	110,372	59,2438	1,9889	17,2576	168,775
$\bar{X}_o$	17,430	3,090	144,260	39,510	2,290	17,250	169,490
$\bar{X}_S^+$	49,243	6,425	120,538	57,575	2,007	17,618	173,525
$\bar{X}_S^-$	26,181	5,113	100,206	60,913	1,971	16,897	164,025
%Gs+	182,520	107,929	-16,444	45,723	-12,346	2,134	2,381
%Gs-	50,204	65,453	-30,538	54,170	-13,950	-2,046	-3,224
População F5 para F6							
Parâmetros	PROD	NH	AP	NVP	NSV	M100GR	NDM
$\bar{X}_{F6}$	30,1787	5,575	111,581	48,800	1,956	25,2056	174,413
$\bar{X}_o$	17,030	3,880	139,880	44,230	2,160	20,290	173,210
$\bar{X}_S^+$	25,501	5,788	108,631	49,638	1,937	19,869	177,350
$\bar{X}_S^-$	35,851	5,388	110,244	48,838	1,960	31,020	168,325
%Gs+	49,739	49,162	-22,340	12,226	-10,315	-2,073	2,390
%Gs-	110,516	38,853	-21,187	10,417	-9,250	52,885	-2,820

Em que: $\bar{X}_{F4}$, $\bar{X}_{F5}$, $\bar{X}_{F6}$,: média geral das populações utilizadas para o cálculo de ganho realizado, $\bar{X}_o$: média da população original; $\bar{X}_S^-$: média da população com menor capacidade de ramificação; $\bar{X}_S^+$: Média da população selecionada com maior capacidade de ramificação; (%Gs+): ganho realizado, em porcentagem, com seleção para maior capacidade de ramificação; (%Gs-): ganho realizado, em porcentagem, com seleção para menor capacidade de ramificação.

Segundo Vencovsky (1983), isso se deve ao fato de que as condições ambientais do ano agrícola da predição quase não coincidem com aquelas do ano agrícola em que o material selecionado foi conduzido no campo. De fato, condições em que os experimentos utilizados para obter as estimativas de ganho predito e ganho realizado foram completamente distintas, sendo os primeiros conduzidos em condições de casa de vegetação e os demais em condições de campo.

Tomando isso em consideração, nas estimativas de ganho realizado (Tabela 4), pode ser observado que a seleção de genótipos com menor número de hastes, nas populações F3 e F4, resultou em ganhos positivos para produção de grãos, diferente do que foi predito (Tabela 3). Esses ganhos se deram, porque, a média da produção de grãos nas populações F4 e F5, conduzidas em campo, é muito superior à média de suas gerações parentais, F3 e F4, conduzidas em casa de vegetação (Tabela 4).

Comparando assim, os valores de ganhos realizados para produção de grãos com a seleção dos genótipos mais e menos ramificados (Tabela 4), pode-se observar que, a opção por aumenta a capacidade de ramificação resultou em ganhos reais de produção quando a seleção foi imposta nas gerações F3 e F4, incorrendo, entretanto, no aumento do ciclo desses genótipos.

CONCLUSÕES

Existe variabilidade genética para capacidade de emissão de ramos laterais em soja.

Nas populações de soja analisadas, a seleção para aumentar o número de hastes laterais resultou em genótipos de ciclo mais longo.

No conjunto gênico avaliado, a seleção de genótipos de soja visando elevar o número de ramificação auxilia na busca por materiais mais produtivos, não sendo eficiente, entretanto, em genótipos de hábito de crescimento horizontal.

REFERÊNCIAS

- BANGAR, N. D.; MUKHEKAR, G. D.; LAD, D. B.; MUKHEKAR D. G. Genetic variability, correlation and regression studies in soybean. **Journal of Maharashtra Agricultural Universities**, v. 28, n. 3, p. 320-321, 2003.
- BARILI, L. D.; VALE, N. M.; ROCHA, F.; ROZETTO, D. S.; COAN, M. M. D.; COIMBRA, J. L. M.; SOUZA, C. A. Componentes do rendimento em acessos de feijão. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 9, n. 2, p. 125-133, 2010.
- BARROS, J. P. A.; SEDIYAMA, T.; SILVA, F. C. S.; SILVA, A. F.; BEZERRA, A. R. G.; ROSA, D. P.; OLIVEIRA, D. S. Estimates of Genetic Parameters and Efficiency in Selection for Branching Capacity in Soybean Genotypes. **Journal of Agronomy**, v. 15, n. 1, p. 39, 2016.
- BASAVARAJA, G. T. Studies on induced mutagenesis in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill.). **Ph.D. Thesis**, Uni. Agric. Sci. Dharwad (India) 187p. 2002.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. 2016. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, décimo levantamento**. n.10 julho 2016 / Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab. 85p.
- COSTA, M. M.; MAURO, A. O. D.; TREVESOLI, S. H. U.; ARRIEL, N. H. C.; BÁRBARO, I. M.; MUNIZ, F. R. S.; Ganho genético por diferentes critérios de seleção em populações segregantes de soja - **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1095-1102, 2004.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. S. C. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV. 585p. 2006.
- CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum*. v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.
- FERRÃO, R. G.; CRUZ, C. D.; FERREIRA, A.; CECON, P. R.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A.F.A.; CARNEIRO, P.C.S.; SILVA, M.F. 2008. Parâmetros genéticos em café Conilon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 1, p. 61-69. 2008.
- NELSON, R. The inheritance of a branching type in soybean. **Crop science**, v. 36, n. 5, p. 1150-1152, 1996.
- NOGUEIRA, A. P. O.; SEDIYAMA, T.; SOUSA, L. B.; HAMAWAKI, O. T.; CRUZ, C. D.; PEREIRA, D. G.; MATSUO, É. Path analysis and correlations among traits in soybean grown in two dates sowing. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 6, 2012.

OKONKWO, F. A.; IDAHOSA, D. O. Heritability and correlation studies of yield characters in some soybean (*Glycine max* (L.) Merrill.) varieties in Ekpoma. **American Journal of Research Communication**, Okonkwo and Idahosa, v.34, n. 1, 2013.

OLIVEIRA, A. P.; MELO, P. C. T.; JÚNIOR, L. J. D. G. W.; ALVES, A. U.; MOURA, M. F.; OLIVEIRA, A. N. P. Desempenho de genótipos de coentro em Areia. **Horticultura brasileira**, v. 25, n. 2, 2007.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 1, p. 182-194, 2007.

SAYAMA, T.; HWAONG, T.; YAMAZAKY, H.; YAMAGUCHI, N.; KOMATSU, K.; TAKAHASHI, M.; WATANABE, S.; HARADA, K.; FUNATSUKI, H.; ISHIMOTO, M. Mapping and comparison of quantitative trait loci for soybean branching phenotype in two locations. **Breeding Science**, v.60, p. 380–389, 2010.

SEAB. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. DERAL - Departamento de Economia Rural. Soja – **Análise da Conjuntura Agropecuária**. Novembro, 2015. Disponível em: http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/Soja_2014_15.pdf.

SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A.; **Soja: do plantio à colheita**. Editora UFV, Viçosa-MG, 2015. 333p.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C.; REIS, M. S. **Melhoramento da soja**. In: BORÉM, A. Melhoramento de espécies cultivadas. 2 ed. Viçosa: UFV, 2005. p. 553-603.

SILVA, A. F.; SEDIYAMA, T.; SILVA, F. C. S.; BEZERRA, A. R. G.; FERREIRA, L. V. Correlation and path analysis of soybean yield components. **International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences**, v. 5, p. 177-179, 2015.

VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E. (Ed.). **Melhoramento e produção de milho no Brasil**. 2. ed. Campinas: Fundação Cargil, 1987. cap.3, p.122-201.

VERNETTI, F. J. **Soja: Genética e Melhoramento**. Campinas: Fundação Cargil, v.2, 1983.

CAPITULO 4

EFICIÊNCIA DE TÉCNICAS DE SELEÇÃO SIMULTÂNEA DE CARACTERES AGRONÔMICOS EM POPULAÇÕES SEGREGANTES DE SOJA

RESUMO

SILVA, Francisco Charles dos Santos. D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2017. **Rede de correlações, eficiência da seleção visual e indireta via capacidade de ramificação e de índices de seleção em soja.** Orientador: Tuneo Sedyama. Coorientadores: Cosme Damião Cruz e Felipe Lopes da Silva.

O presente estudo foi realizado com o objetivo de avaliar dois novos índices de seleção e o índice de seleção visual, conferir a eficiência relativa desses com índices já utilizados, determinando os métodos superiores e mais similares, analisar a possibilidade do uso do peso econômico (w_i) na obtenção de genótipos de soja mais promissores e verificar a real eficácia desses processos seletivos por meio do ganho realizado. Para isso foram utilizadas três populações segregantes de soja, nas quais foram estimados os ganhos preditos, que posteriormente foram avançadas uma geração para obtenção dos ganhos realizados. Concluiu-se que o índice 2 proposto nesse trabalho e o de Mulamba e Mock (1978) foram os que

forneceram maiores ganhos preditos totais. A seleção visual não foi adequada em nenhuma das populações analisadas neste trabalho. A similaridade e a divergência entre os índices de seleção dependem da situação de seleção. O índice 1 proposto neste trabalho foi adequado em todas as populações, porém com ganhos totais sempre inferiores aos do índice 2 e aos do índice de Mulamba e Mock (1978). O peso econômico (w_i), proposto por Viana e Resende (2014), pelos critérios adotados nesse trabalho, não se mostrou adequado em situações onde o caráter objetivo do melhoramento não possuía correlações genotípicas positivas com as demais. A quantificação precisa da eficiência real dos processos seletivos foi inviabilizada devido à variação das condições ambientais entre o ambiente de seleção e o ambiente de condução da geração mais avançada.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) Merrill, índices de seleção, caracteres agronômicos, progresso genético

ABSTRACT

SILVA, Francisco Charles dos Santos. D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2017. **Network of correlations, efficiency of visual and indirect selection through branch capacity and selection indexes in soybean.** Adviser: Tuneo Sediama. Co-advisers: Cosme Damião Cruz and Felipe Lopes da Silva

The present study was carried out with the objective of evaluating two new selection indices and the visual selection index, to check the relative efficiency of these with already used indices, determining the higher and more similar methods, to analyze the possibility of using the economic weight (w_i) to obtain the most promising soybean genotypes and to verify the real efficacy of these selective processes by means of the gain obtained. For this, three soybean segregant populations were used, in which the predicted gains were estimated, which were

later advanced one generation to obtain the realized gains. It was concluded that the index 2 proposed in this work and that of Mulamba and Mock (1978) were those that provided the highest total predicted gains. The visual selection was not adequate in any of the populations analyzed in this study. The similarity and divergence between selection indices depends on the selection situation. The index 1 proposed in this study was adequate in all populations, but with total gains always lower than those in index 2 and those in the Mulamba and Mock index (1978). The economic weight (w_i), proposed by Viana and Resende (2014), for the criteria adopted in this study, was not adequate in situations where the objective character of the breeding had no positive genotypic correlations with the others. The precise quantification of the actual efficiency of the selective processes was made unfeasible due to the variation of environmental conditions between the selection environment and the driving environment of the most advanced generation.

Key-words: *Glycine max* (L.) Merrill, selection indexes, agronomic characters, genetic progress.

INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) tem se colocado, nos últimos anos, como uma das principais culturas agrícolas do Brasil, onde a geração de divisas e a influência na balança comercial são significativas. O nível de produção e produtividade da soja no País se deve, entre outros fatores, ao melhoramento genético.

Em um programa de melhoramento, para obter materiais genéticos superiores é necessário que o germoplasma selecionado reúna, simultaneamente, uma série de atributos favoráveis que lhe confira rendimento comparativamente mais elevado e que satisfaça tanto as exigências do consumidor quanto às do produtor (CRUZ e CARNEIRO, 2006).

A seleção com base em uma ou em poucas características, tem se mostrado

inadequada, por conduzir a um produto final superior em relação a apenas os caracteres selecionados, mas com desempenho não tão favorável em relação aos vários outros caracteres não considerados durante a prática seletiva (CRUZ e CARNEIRO, 2006).

Assim, a seleção simultânea de um conjunto de caracteres de expressividade econômica aumenta a chance de êxito de um programa de melhoramento. Para tal, a teoria de índice de seleção permite combinar as múltiplas informações contidas na unidade experimental, possibilitando a seleção com base em um complexo de variáveis que reúna vários atributos de interesse econômico (CRUZ e REGAZZI, 1997). Desse modo, o índice de seleção constitui-se numa função linear das diferentes características, podendo ser dado algum peso diferencial da importância da característica (RAMALHO et al., 2012).

Várias metodologias de índices têm sido descritas ao longo dos anos. A ideia inicial da aplicação da técnica foi apresentada por Smith (1936). Essa baseia-se na estimação de covariâncias genótípicas e fenotípicas e no estabelecimento de pesos econômicos para os vários caracteres.

Por outro lado, Williams (1962) sugeriu ponderar os valores fenotípicos pelos seus respectivos pesos econômicos, evitando desta forma a interferência das imprecisões das matrizes de variâncias e covariâncias.

Pesek e Baker (1969) propuseram um índice em que esses pesos poderiam ser substituídos pelos ganhos desejados. Outros índices (ELSTON, 1963; MULAMBA e MOCK, 1978) identificam-se por eliminar a necessidade de estabelecer pesos econômicos e estimar variâncias e covariâncias.

A dificuldade, aliada à subjetividade, para atribuição dos pesos econômicos necessários a alguns índices, fez que fosse proposta a substituição desses pesos por estatísticas dos próprios dados experimentais (CRUZ, 1990). O autor recomenda que o coeficiente de variação genético (CVg%) seja utilizado como peso econômico, uma vez que é diretamente proporcional à variância genética disponível.

Viana e Resende (2014) recomendam o uso do peso (w_i) que corresponde a uma relação entre cada caráter a ser melhorado e o caráter objetivo do melhoramento. A obtenção das estimativas de pesos econômicos por essa

metodologia depende da eleição de uma característica para a qual se deseja maiores ganhos, de forma que as características que apresentarem maiores correlações com esta também serão favorecidas.

O objetivo do peso (w_i) fere um dos princípios básicos dos índices de seleção que é o ganho uniforme para todas as características, todavia, a possibilidade de ganho superior, dado por um peso econômico extraído dos próprios dados, para uma característica que o melhorista julga como sendo de maior importância, é de extrema importância. Entretanto, a eficiência do uso desse peso econômico ainda não foi devidamente explorada.

A seleção visual, quando praticada buscando melhorar simultaneamente vários caracteres, também pode ser considerada um índice de seleção. Esse seria o índice mais antigo, simples e, provavelmente, o mais empregado no melhoramento de plantas ao longo do tempo. Utiliza-se, basicamente, a habilidade dos melhoristas em, visualmente, identificar os indivíduos genotipicamente superiores (WEATHERWAX, 1954).

Diversos autores ainda têm procurado comparar esses índices em diferentes situações buscando identificar os mais eficientes. Em soja, Costa et al. (2004) e Bárbaro et al. (2007) identificaram o índice de Mulamba e Mock (1978) como sendo o mais adequado nas condições do estudo. Entretanto, os estudos de Arnhold e Silva (2009) indicam que para soja o índice de Elston (1963) é mais eficiente que o índice de Mulamba e Mock (1978).

Dessa forma, objetivou-se avaliar dois novos índices de seleção e o índice de seleção visual, comparar a eficiência relativa desses com índices já utilizados, determinando os métodos superiores e mais similares, examinar a possibilidade do uso do peso econômico (w_i) na obtenção de genótipos de soja mais promissores e verificar a real eficiência desses processos seletivos por meio do ganho realizado.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi dividido em duas etapas, na primeira, três populações de soja, nas gerações F3, F4 e F5, composta por 20 famílias, foram conduzidas em

condições de casa de vegetação em experimentos de blocos casualizados com quatro repetições e unidade experimental de duas plantas por vaso.

Em cada população foram mensurados a altura de plantas (cm), altura de inserção da primeira vargem (cm), o número de hastes laterais e a produção por parcela (g). Foram realizadas análises de variância para verificar a existência de variabilidade genética que possibilitasse a seleção.

Posteriormente foram estimados os ganhos preditos em porcentagem, com seleção simultânea buscando ganhos no valor médio das quatro características, com intensidade de seleção de 25%, usando a seleção visual os índices de seleção de Pasek e Baker (1969), tendo como ganhos desejados o equivalente ao desvio-padrão genético, de Mulamba e Mock (1978), índice 1, de Smith (1936) e Hazel (1943), de Williams (1962) e índice 2. Os três últimos índices citados tiveram como pesos econômicos o coeficiente de variação genético (CVg%) e o peso (w_i) de Viana e Resende (2014).

O peso (w_i) é determinado pela relação das correlações (r) entre cada caráter (i) e o caráter objetivo do melhoramento j (r_{ij}), onde w_i foi obtido pelo estimador $w_i = r_{ij} / \sum_{i=1}^n r_{ij}$, sendo adotado como caráter alvo a produção de grãos por parcela (g).

A seleção visual das melhores famílias foi efetuada antes da colheita, quando as plantas encontravam-se no estágio R8 (95% das vagens maduras).

O índice 1 proposto nesse trabalho trata-se de uma modificação do índice de Mulamba e Mock (1978). Na nova proposta o ranque seria dado em função do agrupamento determinado pelo teste de Scott e Knott (1974), sendo que os genótipos contidos em um mesmo grupo receberiam o mesmo ranque. Tal artifício procura reduzir a influência do ambiente sobre o processo seletivo, em que no índice original isso ocorre uma vez que um genótipo com média minimamente superior já recebe melhor ranqueamento.

Já o índice 2 é uma modificação do índice de Williams (1962). Nesse efetua-se uma previa padronização das médias, como objetivo de evitar a possível influência da magnitude das unidades de medida na seleção, o que não é levado em consideração no índice original, no qual os pesos são multiplicados diretamente ao valor da média do genótipo.

O ganho predito foi estimado pela multiplicação da herdabilidade no sentido amplo pelo diferencial de seleção, em todas as análises. O diferencial de seleção foi obtido pela diferença da média dos selecionados pela média geral. O ganho predito total em porcentagem foi obtido pela soma, em porcentagem, do ganho predito em cada característica selecionada.

Na segunda etapa, para estimar os ganhos realizados a serem obtidos com os diferentes índices de seleção, as populações foram avançadas em “bulk” de cada família, das gerações F3, F4 e F5, para F4, F5 e F6 respectivamente, sendo implantadas no mesmo local e seguindo o mesmo delineamento experimental.

A estimativa do ganho realizado corresponde ao diferencial de seleção obtido pela diferença da média dos selecionados nas populações da segunda etapa pela média geral da população correspondente na primeira etapa. Assim como no cálculo de predição, o ganho realizado total em porcentagem foi obtido pela soma, em porcentagem, do ganho predito em cada característica selecionada.

A eficiência relativa dos índices foi julgada pelos ganhos preditos totais em porcentagem, obtidos por seleção simultânea. Assim, um índice foi considerado relativamente superior a outro, quando estimou maior ganho genético predito total em porcentagem.

Além dos ganhos genéticos a comparação entre os critérios de seleção foram realizados por meio da porcentagem de coincidências dos genótipos selecionados entre dois índices.

A eficiência da predição do ganho das diferentes alternativas de seleção foi verificada pela sua concordância em magnitude e sentido com o ganho realizado.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o Microsoft Office Excel® e o Programa Genes (Aplicativo computacional em genética e estatística) (CRUZ, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados na Tabela 1 mostram que houve diferença significativa a 1% ou a 5% de probabilidade nas médias de todos os caracteres

analisados em todas as populações, o que evidencia a possibilidade de sucesso com a seleção.

Tabela 1. Resumo das análises de variância, coeficiente de variação experimental [CV(%)], coeficiente de variação genético [CVg(%)], herdabilidade [h^2 (%)], desvio padrão genético (DPg) e peso de Resende e Viana (w_i), para quatro características avaliadas em três populações de soja

População F3					
Fontes de variação	-----Quadrado Médio-----				

	AP	IPV	NH	PROD	
Blocos	1138,703	43,505	4,371	35,532	
Tratamentos	4082,476 **	421,309 **	8,770 **	29,960 **	
CV(%)	16,250	33,160	33,020	13,510	
CVg(%)	20,310	27,950	34,060	13,280	
h^2 (%)	86,200	73,970	80,970	79,450	
DPg	29,661	8,827	1,332	2,439	
(w_i)	0,260	0,243	0,145	0,352	
População F4					
Fontes de variação	-----Quadrado Médio-----				

	AP	IPV	NH	PROD	
Blocos	57,644	90,220	4,553	0,923	
Tratamentos	1083,698 **	622,929 **	3,401 *	8,974 **	
CV(%)	11,380	30,110	42,010	10,250	
CVg(%)	9,890	26,230	21,140	7,020	
h^2 (%)	75,110	75,220	50,330	65,230	
DPg	14,265	10,823	0,654	1,210	
(w_i)	-0,895	-0,356	-0,196	2,447	
População F5					
Fontes de variação	-----Quadrado Médio-----				

	AP	IPV	NH	PROD	
Blocos	356,346	383,372	2,353	9,991	
Tratamentos	1555,195 **	764,973 **	4,947 *	28,034 **	
CV(%)	13,280	35,310	41,410	18,570	
CVg(%)	12,430	25,920	19,760	12,460	
h^2 (%)	77,800	68,300	47,680	64,300	
DPg	17,392	11,429	0,767	2,123	
(w_i)	0,478	0,739	0,699	-0,918	

** e *significativo pelo teste F a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente; (AP) altura de plantas, (IPV) altura de inserção da primeira vagem, (NH) número de hastes laterais, (PROD) produção.

Os valores estimados para a herdabilidade de todos os caracteres (Tabela 1) foram condizentes com os obtidos por Costa et al. (2004), Bárbaro et al. (2007) e Barros et al., (2016) o que indicam a possibilidade de selecionar genótipos superiores com maior segurança.

É importante ressaltar que todas as estimativas de ganho de seleção estão superestimadas, visto que foram calculadas considerando-se a herdabilidade no sentido amplo. Contudo, esse fato não irá interferir nos resultados, já que todos os métodos utilizados estarão sujeitos a esse mesmo problema de estimação. Fato semelhante foi descrito por Barros et al. (2016), em seu estudo sobre a eficiência da seleção para capacidade de ramificação em soja.

A comparação entre os diferentes índices de seleção avaliados seguiu as recomendações de Ramalho et al. (2012). Segundo esses autores, o interesse primordial dos melhoristas é que a seleção dos genótipos resulte em ganhos para todos os caracteres e que estes sejam mais expressivos para os caracteres de maior importância econômica, denotando que o índice resulta em ganhos relativamente equilibrados para todos os caracteres.

Considerando a seleção positiva para altura de plantas, altura da inserção da primeira vagem, número de hastes e produtividade na população F3 (Tabela 2), os Índices de Smith (1936) e Hazel (1946) e o índice 2 proposto nesse trabalho, independentemente se o peso econômico adotado tenha sido o $CVg(\%)$ ou o peso (w_i), apresentaram junto com o índice de Mulamba e Mock (1978), os maiores ganhos totais.

Tabela 2. Ganhos genéticos preditos em porcentagem (GS %) com seleção simultânea para altura de plantas (AP), altura da inserção da primeira vagem (IPV), número de hastes (NH) e produção (PROD) utilizando vários índices de seleção quando selecionados cinco famílias em três populações de soja

-----População F3-----					
Índice ¹	-----Ganho de seleção (%)-----				Total (%)
	AP	IPV	NH	PROD	
SH. (p1)	22,25	30,56	14,23	11,33	78,37
SH. (p2)	22,25	30,56	14,23	11,33	78,37
PB	10,33	21,37	21,47	10,80	63,97
I W. (p1)	23,67	29,13	10,61	9,30	72,71
I W. (p2)	23,67	29,13	10,61	9,30	72,71
MM	22,25	30,56	14,23	11,33	78,37
I 1	20,25	28,42	13,19	12,45	74,32
I 2. (p1)	22,25	30,56	14,23	11,32	78,37
I 2. (p2)	22,25	30,56	14,23	11,32	78,37
SV	10,25	11,41	6,34	8,95	36,95
-----População F4-----					
Índice ¹	-----Ganho de seleção (%)-----				Total (%)
	AP	IPV	NH	PROD	
SH. (p1)	9,75	27,45	-3,15	-1,77	32,28
SH. (p2)	-9,83	-21,18	-4,37	3,77	-31,61
PB	6,80	11,22	11,49	3,41	32,92
I W. (p1)	9,75	27,45	-3,15	-1,77	32,28
I W. (p2)	-9,83	-21,18	-4,37	3,77	-31,61
MM	8,20	21,34	11,08	0,94	41,56
I 1	9,38	26,22	-0,31	0,36	35,66
I 2. (p1)	9,62	20,43	11,90	-0,48	41,47
I 2. (p2)	-8,07	-16,49	-6,41	7,14	-23,83
SV	0,31	-2,22	7,42	-0,53	4,98
-----População F5-----					
Índice ¹	-----Ganho de seleção (%)-----				Total (%)
	AP	IPV	NH	PROD	
SH. (p1)	14,32	26,20	1,15	-10,70	30,97
SH. (p2)	14,32	26,20	1,15	-10,70	30,97
PB	7,09	-4,99	3,61	5,36	11,07
I W. (p1)	14,32	26,20	1,15	-10,70	30,97
I W. (p2)	14,32	26,20	1,15	-10,70	30,97
MM	8,55	10,77	15,89	-1,25	33,96
I 1	10,60	6,94	7,60	1,74	26,88
I 2. (p1)	8,84	28,17	5,14	-9,20	32,97
I 2. (p2)	7,90	27,23	5,14	-11,37	28,90

SV	6,78	7,92	-2,23	3,29	15,77
----	------	------	-------	------	-------

(p1) peso econômico igual ao CVg(%), (p2) peso econômico w_i ; ¹(SH) índice de Smith (1936) e Hazel (1943), (PB) índice de Pasek e Baker (1969), (I W) índice de Williams (1962), (MM) índice de Mulamba e Mock (1978), (I 1) índice 1, (I 2) índice 2, (SV) seleção visual.

A modificação no índice proposto por Mulamba e Mock (1978) apresentou, na população F3, o segundo maior ganho predito total, ficando um pouco abaixo do índice original, todavia proporcionou melhor distribuição dos ganhos entre as variáveis. Já o índice de Pesek e Baker (1969) foi o que apresentou o pior desempenho, a frente apenas da seleção visual das melhores famílias (Tabela 2).

Na população F4 os índices Smith (1936) e Hazel (1946), Williams (1962) e índice 2, quando associados ao peso econômico (w_i) (Tabela 2), foram inferiores aos demais em predizer os ganhos totais. Entretanto, esses mesmos índices, como esperado, predisseram ganhos mais expressivos para produção, uma vez que essa característica foi tida como referência para obtenção das estimativas dos pesos (w_i).

A predição de ganhos negativos para as demais características, altura de plantas, inserção da primeira vagem e número de hastes (Tabela 2), também era previsto, uma vez que os pesos obtidos a elas foram negativos, pois, nessa população, apresentaram correlações genotípicas negativas com produção.

O índice de Mulamba e Mock (1978) seguido do índice 2, usando como peso econômico o CVg(%), tiveram novamente o mérito de predizer os maiores valores de ganho total. Já o índice 1, apesar de não ter apresentado esse valor superior ao índice de Mulamba e Mock (1978), do qual foi derivado, foi superior aos índices tradicionais como o índice de Smith (1936) e Hazel (1946), Williams (1962) e de Pesek e Baker (1969) (Tabela 2).

Ainda na população F4 o índice de Pesek e Baker (1969) (Tabela 2), apesar de ser apenas o quarto melhor índice em predizer o ganho total, teve o mérito da melhor distribuição de ganho entre as quatro características avaliadas.

Na população F5, mais uma vez o índice Mulamba e Mock (1978), seguido do índice 2, associado ao peso econômico igual ao CVg(%), foram responsáveis pela seleção de famílias que proporcionaram os maiores ganhos

preditos totais (Tabela 2). Demonstrando, dessa forma, a possibilidade de uso do índice 2 em programas de melhoramento de soja.

A vantagem do índice de Mulamba e Mock (1978), quando se considera os ganhos totais, também foram observadas por Bárbaro et al. (2007) e por Costa et al. (2004).

Entre as estratégias de seleção avaliadas, na população F5, o índice 1 foi o que apresentou as melhores distribuições dos ganhos entre as quatro características avaliadas e ainda foi o único índice que proporcionou ganhos positivos para todas (Tabela 2).

A seleção visual das melhores famílias (Tabela 2), apesar de ter apresentado boa uniformidade na predição de ganhos em todas as populações de estudo, sempre ficou entre as piores alternativas de seleção.

Há vários outros relatos na literatura indicando que a seleção visual é de baixa eficiência como Dahiya et al. (1984) em grão-de-bico, Marques et al. (2000) na cultura do milho e Shebeski (1967) em trigo. Isso demonstra a importância do uso de ferramentas estatísticas, como os índices de seleção, na condução de programas de melhoramento de soja, a fim de obter genótipos de maior aceitação no mercado.

Costa et al. (2004) também verificaram que é vantajoso o uso dos índices de seleção em programas de melhoramento de soja. Assim como Oliveira et al. (1999) que igualmente registraram resultados favoráveis dos índices na seleção simultânea de caracteres de soja.

Os ganhos estimados pelos índices de Smith (1936) e Hazel (1946), Willians (1962) e índice 2 (Tabela 2), obtidos nas populações F4 e F5, com a ponderação de dois pesos econômicos anteriormente citados, mostraram leve superioridade da estimativa do ganho total quando se usa o CVg% como peso econômico, para os três índices, sendo o peso (w_i) no máximo igual a este CVg%, em termos de eficiência, como observado na população F3. A superioridade para essa estatística também foi observada por Costa et al. (2004) e Paula et al. (2002) com relação a outros pesos econômicos.

De acordo com os resultados dos ganhos preditos nas três populações (Tabela 2) observa-se que o peso (w_i) não é indicado em situações onde a

característica de referência, não possui correlações genotípicas positivas com as demais (Tabela 3) em casos em que se deseja ganhos positivos para todas.

Essa desvantagem poderia ser sanada com alterações dos sinais negativos para positivos nos pesos econômicos. Essa modificação, entretanto, seria uma violação do estimador original, dessa forma não foi avaliada nesse trabalho.

Tabela 3. Coeficientes de correlação genotípica entre os caracteres altura de plantas (AP), altura da inserção da primeira vagem (IPV), número de hastes (NH) e produção (PROD) em três populações segregantes de soja

	----- População F3 -----			----- População F4 -----			----- População F5 -----		
	-			-			-		
	IPV	NH	PROD	IPV	NH	PROD	IPV	NH	PROD
AP	1,025	0,617	0,737	0,936	0,396	-0,365	0,980	0,532	-0,521
IP									
V		0,717	0,689		0,048	-0,145		0,625	-0,805
NH			0,410			-0,080			-0,762

Caso o problema não ocorra, como na população F3 (Tabela 2), em que todas as características tiveram correlações genotípicas positivas com produção (Tabela 3), o peso econômico de w_i chegou a ser tão eficiente quando o CVg(%) na seleção dos melhores genótipos, indicando a possibilidade do seu uso.

Entretanto, mesmo na população F3, não foi possível observar a seleção de genótipos mais produtivos, tida como característica principal na estimação do peso econômico, sendo essa averiguada apenas na população F4, todavia com redução no ganho das demais características (Tabela 2).

A proposta do índice 2, com a padronização das médias, é prevenir a possível influência da escala das unidades de medida no processo seletivo que pode existir no índice de Willians (1962).

Considerando os ganhos preditos pelos índices de Willians (1962) e pelo índice 2, ambos com o CVg(%) com peso econômico, em todas as populações (Tabela 2), podemos observar que as características de maior escala, altura de plantas e altura de inserção da primeira vagem, apresentaram forte influência sobre a eficiência do índice de Willians (1962), visto que, os ganhos preditos por esse índice, eram maiores do que os proporcionados pelo índice 2, para essas características em 85% das vezes.

Por sua vez, as características com unidade de medida de menor magnitude, número de haste e produção, com médias que variaram entre as populações de 3,09 a 3,9 unidades e 17,03 a 18,3 g, respectivamente, foram denegridas pelo índice de Willians (1962), uma vez que, em todas as populações de estudo o índice 2 se mostrou superior.

Como pode ser verificado na Tabela 4, o índice de Willians (1962) priorizou a seleção dos genótipos com maior altura de plantas e maior altura na inserção da primeira vagem, em detrimento dos genótipos com maior número de hastes e maior produção. Já no índice 2 observa-se um maior equilíbrio dos genótipos selecionados entre as características de maior e menor magnitude de unidade de medida.

Tabela 4. Porcentagem de coincidências das cinco famílias selecionadas com os índices¹ com as cinco famílias de maior média para as características avaliadas

População F3				
	Maior magnitude na unidade de medida		Menor magnitude na unidade de medida	
	AP (cm)	IPV (cm)	NH (un.)	PROD (gr)
I W. (p1)	80%	80%	20%	40%
I 2. (p1)	80%	80%	20%	60%
População F4				
	Maior magnitude na unidade de medida		Menor magnitude na unidade de medida	
	AP (cm)	IPV (cm)	NH (un.)	PROD (gr)
I W. (p1)	80%	80%	20%	0%
I 2. (p1)	80%	20%	60%	0%
População F5				
	Maior magnitude na unidade de medida		Menor magnitude na unidade de medida	
	AP (cm)	IPV (cm)	NH (un.)	PROD (gr)
I W. (p1)	80%	80%	0%	0%
I 2. (p1)	40%	80%	40%	0%

(AP) altura de plantas, (IPV) altura de inserção da primeira vagem, (NH) número de hastes laterais, (PROD) produção, (p1) peso econômico igual ao coeficiente de variação genético (CVg%); ¹ (I W) índice de Williams (1962), (I 1) índice 2.

Fica evidenciado, assim, a influência da escala das unidades de medida sobre o índice de Willians (1962), no qual a ponderação é feita apenas por pesos

econômicos. Esse efeito é amenizado pelo adimensionamento das unidades de medida realizada pela padronização no índice 2.

Com base na comparação feita entre os genótipos selecionados (Tabela 5), constatou-se que a similaridade ou a diferença entre os índices de seleção avaliados depende da situação de seleção, com exceção da seleção visual que se mostrou a estratégia mais contrastantes em relação às demais.

Tabela 5. Porcentagem de coincidência de genótipos selecionados entre índices¹ quando selecionados cinco famílias em três populações de soja

----- % de coincidência na população F3 -----									
	SH. (p2)	PB	IW. (p1)	IW. (p2)	MM	I 1	I 2. (p1)	I 2. (p2)	SV
SH. (p1)	100	60	80	80	100	80	100	100	40
SH. (p2)	-	60	80	80	100	80	100	100	40
PB		-	40	40	60	60	60	60	20
IW. (p1)			-	100	80	60	80	80	60
IW. (p2)				-	80	60	80	80	60
MM					-	80	100	100	40
I 1						-	80	80	40
I 2. (p1)							-	100	40
I 2. (p2)								-	40
SV									-
----- % de coincidência na população F4 -----									
	SH. (p2)	PB	IW. (p1)	IW. (p2)	MM	I 1	I 2. (p1)	I 2. (p2)	SV
SH (p1)	0	40	100	0	40	40	60	0	20
SH (p2)	-	0	0	100	0	20	0	60	20
PB		-	40	0	60	0	60	40	20
BW (p1)			-	0	40	40	60	0	20
BW (p2)				-	0	20	0	60	20
MM					-	20	80	0	0
I. 1						-	20	20	20
I. 2 (p1)							-	0	20
I. 2 (p2)								-	20
SV									-
----- % de coincidência na população F5 -----									
	SH. (p2)	PB	IW. (p1)	IW. (p2)	MM	I 1	I 2. (p1)	I 2. (p2)	SV
SH (p1)	40	100	100	100	40	40	60	60	40
SH (p2)	-	40	100	100	40	40	60	60	40
PB		-	40	40	40	60	0	0	60
BW (p1)			-	100	40	40	60	60	40
BW (p2)				-	40	40	60	60	40
MM					-	60	60	40	20
I. 1						-	20	20	40
I. 2 (p1)							-	80	40
I. 2 (p2)								-	40
SV									-

(p1) peso econômico igual ao CVg(%), (p2) peso econômico de PRV; ¹(SH) índice de Smith (1936) e Hazel (1943), (PB) índice de Pasek e Baker (1969), (I W) índice de Williams (1962), (MM) índice de Mulamba e Mock (1978), (I 1) índice 1, (I 2) índice 2, (SV) seleção visual.

De posse dos valores de ganhos preditos (Tabela 2) e dos obtidos experimentalmente (Tabela 7), verifica-se que não houve concordância entre o que se esperava e o que se constatou experimentalmente em nenhuma das estratégias de seleção avaliadas. Segundo Vencovsky (1987), isso se deve ao fato de que as condições ambientais do ano agrícola da predição quase sempre não coincidem com aquelas do ano agrícola em que o material selecionado foi conduzido. O que pode ser observado na elevada significância do quadrado médio de ambientes, em quase todas as características avaliadas em todas as populações (Tabela 6).

Tabela 6. Resumos das análises de variância conjunta entre poluções F3, F4 e F5 e suas respectivas populações filhas para as quatro características avaliadas

F3 e F4							
Fontes de variação	----- Quadrado Médio -----						
	AP		IPV		NH		PROD
Ambiente (A)	5949,809	**	356,527	**	14,942	**	71,087 **
População (P)	50532,549	**	5406,903	**	30,625	**	60,147
(A) X (P)	679,375		118,225	*	3,335		11,344
Média F3	146,040		31,580		3,910		18,370
Média F4	110,50		19,95		4,79		19,60
F4 e F5							
Fontes de variação	----- Quadrado Médio -----						
	AP		IPV		NH		PROD
Ambiente (A)	3268,922	**	702,933	**	10,667	**	13,608 *
População (P)	42474,547	**	15130,544	**	295,664	**	653,066
(A) X (P)	431,659		157,404		3,887	*	43,340 **
Média F4	144,260		41,260		3,090		17,230
Média F5	111,68		21,81		5,81		21,27
F5 e F6							
Fontes de variação	----- Quadrado Médio -----						
	AP		IPV		NH		PROD
Ambiente (A)	4487,630	**	741,918	**	8,847	**	39,010 **
População (P)	38231,034	**	20424,750	**	94,864		151,437
(A) X (P)	831,714	*	209,178		3,825		16,549
Média F5	139,880		44,100		3,880		17,030
Média F6	108,97		21,50		5,42		18,98

** e *Significativo pelo teste F a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente; (AP) altura de plantas, (IPV) altura de inserção da primeira vagem, (NH) número de hastes laterais, (PROD) produção.

Tabela 7. Ganhos realizados em porcentagem (GS %) com seleção simultânea para altura de plantas (AP), altura da inserção da primeira vagem (IPV), número de hastes (NH) e produção (PROD) utilizando vários índices de seleção¹ quando selecionados cinco famílias em três populações de soja

----- População F4 -----					
Índice	----- Ganho de seleção (%) -----				Total (%)
	AP	IPV	NH	PROD	
SH. (p1)	-5,90	-24,31	43,13	18,72	31,63
SH. (p2)	-5,90	-24,31	43,13	18,72	31,63
PB	-18,89	-30,33	39,30	18,49	8,57
I W. (p1)	-3,95	-23,52	46,96	20,90	40,39
I W. (p2)	-3,95	-23,52	46,96	20,90	40,39
MM	-5,90	-24,31	43,13	18,72	31,63
I 1	-14,32	-28,99	26,52	22,07	5,28
I 2. (p1)	-5,90	-24,31	43,13	18,72	31,63
I 2. (p2)	-5,90	-24,31	43,13	18,72	31,63
SV	-11,70	-27,38	41,85	18,94	21,71
----- População F5 -----					
Índice	----- Ganho de seleção (%) -----				Total (%)
	AP	IPV	NH	PROD	
SH. (p1)	-42,78	-65,10	41,74	15,35	-50,78
SH. (p2)	-21,24	-44,07	72,93	8,99	16,62
PB	-22,22	-52,31	83,76	4,93	14,15
I W. (p1)	-42,78	-65,10	41,74	15,35	-50,78
I W. (p2)	-21,24	-44,07	72,93	8,99	16,62
MM	-12,12	-47,89	96,69	2,12	38,80
I 1	-27,56	-55,76	47,07	18,91	-17,35
I 2. (p1)	-16,18	-51,70	75,68	-0,54	7,26
I 2. (p2)	-25,41	-55,64	56,77	11,16	-13,12
SV	-39,64	-50,13	63,23	6,49	-20,05
----- População F6 -----					
Índice	----- Ganho de seleção (%) -----				Total (%)
	AP	IPV	NH	PROD	
SH. (p1)	4,23	-34,58	58,45	6,51	34,61
SH. (p2)	4,23	-34,58	58,45	6,51	34,61
PB	-13,12	-48,92	32,69	16,83	-12,52
I W. (p1)	4,23	-34,58	58,45	6,51	34,61
I W. (p2)	4,23	-34,58	58,45	6,51	34,61
MM	-17,61	-33,22	63,61	13,15	25,93
I 1	-12,98	-43,02	57,17	19,43	20,59
I 2. (p1)	-2,81	-33,56	70,05	-4,72	28,96
I 2. (p2)	-4,76	-36,28	57,17	-2,28	13,85
SV	2,75	-48,18	58,45	0,19	13,20

(p1) peso econômico igual ao CVg(%), (p2) peso econômico de PRV; ¹ (SH) índice de Smith (1936) e Hazel (1943), (PB) índice de Pasek e Baker (1969), (I W) índice de Williams (1962), (MM) índice de Mulamba e Mock (1978), (I 1) índice 1, (I 2) índice 2, (SV) seleção visual.

De maneira geral pode-se observar que, enquanto se previa ganhos positivos para altura de plantas e altura da inserção da primeira vagem, ocorreram redução para essas características, enquanto que, os ganhos reais para o número de hastes e para produção foram sempre superiores aos preditos.

O fenômeno observado está associado à influência do ambiente sobre as características, o qual provocou redução nas alturas de plantas na de inserção da primeira vagem e aumento no número de hastes e na produção, como pode ser observado na diferença das médias entre as populações avançadas e suas populações de origem.

CONCLUSÕES

O índice 2, proposto nesse trabalho, e Mulamba e Mock (1978) foram os que forneceram maiores ganhos preditos totais.

A similaridade e a divergência entre os índices de seleção dependem da situação de seleção, apesar da seleção visual ter sido o critério de seletivo mais divergente dos demais, em todas as populações desse estudo.

O índice 1 proposto nesse trabalho foi adequado em todas as populações, porém com ganhos totais sempre inferiores aos do índice 2 e aos do índice de Mulamba e Mock (1978).

O peso econômico (w_i), proposto por Viana e Resende (2014), pelos critérios adotados nesse trabalho, não se mostrou adequado em situações onde o caráter objetivo do melhoramento não possuía correlações genotípicas positivas com as demais.

O índice com base na seleção visual não foi adequada em nenhuma das populações analisadas neste trabalho.

A quantificação precisa da eficiência real dos processos seletivos foi inviabilizada devido às diferenças ambientais entre o ano agrícola da predição e o ano agrícola em que o material selecionado foi conduzido.

REFERÊNCIAS

ARNHOLD, E.; SILVA, R.G. Eficiências relativas de índices de seleção considerando espécies vegetais e pesos econômicos iguais entre caracteres. **Bioscience Journal**, v. 25, n. 3, 2009.

BÁRBARO, I.M.; MUNIZ, F.R.S.; CENTURION, M. A. P. C.; DI MAURO, A.O.; UNÊDA-TREVISOLI, S.H.; COSTA, M.M. Comparação de estratégias de seleção no melhoramento de populações F5 de soja. **Ceres**, v. 54, n. 313, 2007.

BARROS, J.P.A.; SEDIYAMA, T.; SILVA, F.C.S.; SILVA, A.F.; BEZERRA, A.R.G.; ROSA, D.P.; SILVA, A.S.L.; OLIVEIRA, D.S. Estimates of genetic parameters and efficiency in selection for branching capacity in soybean genotype. **Journal of Agronomy**. v.1, n. 1 p.39-44, 2016.

COSTA, M.M.; DI MAURO, A.O.; UNÊDA-TREVISOLI, S.H.; ARRIEL, N.H.C.; BÁRBARO, I.M.; MUNIZ, F.R.S. Ganho genético por diferentes critérios de seleção em populações segregantes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 11, p. 1095-1102, 2004.

CRUZ, C. D. **Aplicação de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas**. 1990. 188p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luís de Queiroz, Piracicaba.

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

CRUZ, C.D. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.

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

DAHIYA, B. S.; WALDIA, R. S.; KAUSHIK, L. S.; SOLANKI, I. S. Early generation yield testing versus visual selection in chickpea (*Cicer arietinum* L.). **Theoretical and applied genetics**, v.68, n.6, p.525-529. 1984.

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

HAZEL, L. N. The genetic basis for constructing selection indexes. **Genetics**, Pittsburgh, v. 28, p. 476-490, 1943.

MARQUES, R. F.; SOUZA, J. C.; RAMALHO, M. A. P.; RIBEIRO, P. H. E. Avaliação da eficiência da seleção visual para produção de grãos de milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 23., 2000, Uberlândia. **Resumos...** Uberlândia: ABMS, 2000. 1 CD-ROM.

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

OLIVEIRA, A.C.B.; SEDIYAMA, C.S.; CRUZ, C.D. Selection for later flowering in soybean (*Glycine max* L. Merrill) F2 populations cultivated under short day conditions. **Genetics and Molecular Biology**, v.22, p.243-247, 1999.

PAULA, R.C. de; PIRES, I.E.; BORGES, R. de G.; CRUZ, C.D. Predição de ganhos genéticos em melhoramento florestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.159-165, 2002.

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

RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A.F.B.; SANTOS, J.B.; NUNES, J.A.R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: Editora UFLA, 2012. 522p.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v. 30, n. 3, p. 507-512, 1974

SHEBESKI, L. H. Wheat and breeding. In: NIELSEN, K. F. (Ed.). **Proceedings Canadian centennial wheat symposium**. Canadá: Modern, 1967. p. 249-272.

SMITH, H.F. A discriminant function for plant selection. **Annals of Eugenics**, London, v.7, p.240-250, 1936.

VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E.; VIÉGAS, G.P (Ed.). **Melhoramento e produção de milho no Brasil**. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987. cap. 3, p.122-201.

VIANA, A.P.; RESENDE, M.D.V. **Genética quantitativa no melhoramento de fruteiras**. Editora Iterciência, 2014. 282p.

WEATHERWAX, E. I. **Indian corn in old America**. New York: Macmillan, 1954. 253 p.

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