

ODILON LEMOS DE MELLO FILHO

CARACTERIZAÇÃO DE POPULAÇÕES DE SOJA DE ALTO TEOR DE
PROTEÍNA QUANTO À PRODUTIVIDADE E À QUALIDADE FISIOLÓGICA
DAS SEMENTES

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2002

ODILON LEMOS DE MELLO FILHO

CARACTERIZAÇÃO DE POPULAÇÕES DE SOJA DE ALTO TEOR DE PROTEÍNA QUANTO À PRODUTIVIDADE E À QUALIDADE FISIOLÓGICA DAS SEMENTES

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

APROVADA: 02 de abril de 2001.

Prof. Maurílio Alves Moreira
(Conselheiro)

Prof. Múcio Silva Reis
(Conselheiro)

Prof. Valterley Soares Rocha

Prof. Sebastião Martins Filho

Prof. Carlos Siqueyuki Sedyama
(Orientador)

Aos meus pais Odilon e Tereza Maria.

Aos meus irmãos Evandro, Raquel, Solange, José Murilo e Paulina.

*Aos meus sobrinhos Fernando, Marina, Taísa, Ana Flávia,
Jaqueline, Maria Julia, Vinícius e Letícia.*

AGRADECIMENTO

Ao meu Bom Deus, por sua constante e preciosa presença em minha vida e à minha Nossa Senhora Aparecida, pela graça de seu oportuno auxílio.

Aos meus maravilhosos pais Odilon Lemos de Mello e Tereza Maria Freire Lemos, pelos excepcionais testemunhos de vida, amor e dedicação aos filhos.

Aos meus queridos irmãos Evandro, Raquel, Solange, José Murilo e Paulina.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização deste trabalho.

Ao Professor Carlos Sigueyuki Sedyama, pela orientação, paciência, amizade e pelo apoio em mais esta etapa de minha formação. Além do seu exemplo de competência no desenvolvimento dos trabalhos.

Ao professor conselheiro Maurílio Alves Moreira, pela compreensão e pelas sugestões.

Ao professor conselheiro Múcio Silva Reis, pela atenção e presteza.

Aos professores Valterley Soares Rocha e Sebastião Martins Filho, pela colaboração.

Ao professor Tuneo Sedyama, pelo constante incentivo e prontidão.

Aos professores Denise Dias, Eduardo Fontes e Eveline Alvarenga, pelas sugestões e colaboração.

Aos estagiários Guilherme Augusto Massoni de Andrade e Rafael Rosalino Dias, pelo grande auxílio na condução dos experimentos, pela amizade, alegria e companheirismo.

Ao funcionário Paulo Daniel Fontes, pela dedicação ao trabalho e responsabilidade.

Ao Newton, Inês, Jander e demais colegas do BIOAGRO/UFV pelo apoio no desenvolvimento dos trabalhos.

Ao CNPq, pelo auxílio financeiro.

Aos colegas Lucas e Vilmar pelas sugestões e apoio.

Aos colegas de república Brás, Tonho e Marcelo, pela amizade.

Ao Grupo de Jovens “JSC” e à Renovação Carismática Católica, pela marcante presença em minha vida.

À minha querida namorada Viviane, pela grande compreensão, apoio e carinho.

Aos meus muito estimados amigos Adriano, Carla, Carlos, Claudete, Cristiane, Egnaldo, Leandro Skowronski, Marcelo “Trolim”, Rogério Fernandes, Rosângela, Elaine, Gustavo e Silvinha, com os quais sempre pude contar.

Aos primos Flávio e Lucas, pelo companheirismo.

Aos meus familiares, pela prontidão e apoio.

A todos aqueles com os quais convivi e que muito colaboraram para minha formação pessoal e profissional.

BIOGRAFIA

ODILON LEMOS DE MELLO FILHO, filho de Odilon Lemos de Mello e Tereza Maria Freire Lemos, nasceu em Passos, MG, em 16 de dezembro de 1975.

Cursou o primário - 1ª a 4ª séries - na Escola Estadual Dr. Wenceslau Braz, em Passos – MG. O ginásial - 5ª a 8ª séries - e o colegial – 2º grau - cursou no Colégio Imaculada Conceição, também em Passos – MG.

Em 1994, iniciou o curso de agronomia, na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa – MG.

Em 1996 e 1997, desenvolveu, no BIOAGRO/UFV, atividades de Iniciação Científica, na área de Genética Molecular Aplicada ao Melhoramento Vegetal.

Em 1998, realizou estágio extra-curricular em melhoramento genético de soja, na *Asgrow Seed Company*, em Stonington – IL – USA, onde residiu por sete meses.

Em 2000, concluiu o curso de Agronomia e iniciou o Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, no departamento de Fitotecnia, na UFV. Submeteu-se à defesa de tese em abril de 2002.

ÍNDICE

RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	x
INTRODUÇÃO.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	5
ARTIGO 1.....	6
INFLUÊNCIA DA SELEÇÃO PARA ALTO TEOR PROTÉICO NA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES E PRODUÇÃO DE GRÃOS EM SOJA.....	6
RESUMO.....	6
ABSTRACT.....	7
INTRODUÇÃO.....	8
MATERIAL E MÉTODOS.....	10
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	14
CONCLUSÕES.....	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	22
ARTIGO 2.....	26
SELEÇÃO DE FAMÍLIAS DE SOJA COM ALTO TEOR PROTÉICO NA SEMENTE E ALTA PRODUÇÃO DE GRÃOS.....	26
RESUMO.....	26
ABSTRACT.....	27
INTRODUÇÃO.....	28
MATERIAL E MÉTODOS.....	30
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33

CONCLUSÕES	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
ARTIGO 3	43
ESTIMATIVAS DE CORRELAÇÕES E ANÁLISES DE TRILHA EM OITO POPULAÇÕES DE SOJA SELECIONADAS VISANDO-SE ALTO TEOR PROTÉICO NA SEMENTE E ALTA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS.	43
RESUMO.....	43
ABSTRACT.....	44
INTRODUÇÃO	45
MATERIAL E MÉTODOS	47
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
CONCLUSÕES	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
RESUMO E CONCLUSÕES GERAIS	67

RESUMO

MELLO FILHO, Odilon Lemos, M. S., Universidade Federal de Viçosa, abril de 2002. **Caracterização de populações de soja de alto teor de proteína quanto à produtividade e à qualidade fisiológica das sementes.** Orientador: Carlos Siqueyuki Sedyama. Conselheiros: Maurílio Alves Moreira e Múcio Silva Reis.

Visando determinar as conseqüências da seleção para alto teor protéico em sementes de soja sobre a qualidade fisiológica das mesmas e sobre a produção de grãos e verificar a correlação, e suas causas, entre estes caracteres, utilizaram-se oito populações, quatro RC₁F₄ e quatro F₄, sendo, cada uma, originária do cruzamento de um material portador de alto teor protéico na semente e uma variedade comercial. Procederam-se análises de variâncias e estimaram-se as médias, correlações, herdabilidades, ganhos por seleção direta, efeitos diretos e indiretos dos componentes primários da produção, sobre a mesma e de seus componentes e do teor protéico da semente, sobre a produção de proteína por planta. Pôde-se concluir que houve tendência da seleção para alto teor protéico influenciar negativamente a qualidade fisiológica das sementes, todavia, não se constituiu em fator limitante à seleção de famílias com alto teor de proteína e boa qualidade de sementes; foi possível, para a maioria das populações, manter as médias de produção de grãos e qualidade fisiológica das sementes estatisticamente iguais ($p > 0,05$) às de seus respectivos progenitores recorrentes e obter, simultaneamente, teor protéico mais elevado que o destes progenitores; a população CD206-CR apresentou famílias com os maiores teores de proteína nas sementes e,

embora tenha apresentado herdabilidade alta para esse caráter e intermediária para produção de grãos, a correlação genotípica negativa entre esses caracteres, presente nessa população, impossibilitou a sua seleção simultânea; em outras populações, foi possível selecionar famílias que apresentassem, simultaneamente, ganhos de seleção positivos quanto ao teor protéico na semente, mantendo-se a média de produção de grãos pelo menos igual à dos respectivos progenitores recorrentes; o caráter produção de proteína por planta seguiu as mesmas tendências de produção de grãos por planta, quanto às correlações; a população CD201-RC apresentou correlações positivas de teor protéico com produção de proteína por planta e produção de grãos; os três caracteres componentes da produção apresentaram efeitos diretos positivos, tanto sobre a produção de grãos quanto sobre a produção de proteína por planta; o efeito direto do teor de proteína na semente sobre a produção de proteína por planta foi positivo, todavia, baixo; e a produção de grãos por planta foi o principal determinante da produção de proteína por planta. Os resultados encontrados neste trabalho serão utilizados para dar continuidade à parte do Programa de Melhoramento de Soja do Bioagro/ UFV que visa, prioritariamente, a obtenção de linhagens de soja com alto teor de proteína na semente.

ABSTRACT

MELLO FILHO, Odilon Lemos, M. S., Universidade Federal de Viçosa, April 2002. **Characterization of high protein soybean populations regarding yield and physiological quality of the seeds.** Advisor: Carlos Sigueyuki Sedyama. Committee Members: Maurílio Alves Moreira and Múcio Silva Reis.

Aiming to determinate the consequences of the selection for high protein in soybean seeds, on the physiological quality of the seeds and on grain yield, and to verify the correlation, and it's causes, among this traits, four RC₁F₄ and four F₄ populations were used, originated, each one, from the crossing of a genotype bearing high protein in the seed and a commercial variety. The variance analyses and estimated the means, correlations, heritabilities, gains by direct selection, direct and indirect effects of grain yield primary components on grain yield and the effects of it's components and of protein content on protein yield per plant were accomplished. By the analysis of the results it was possible to conclude that there was a tendency of the selection for high protein, negatively influence the physiological seed quality, though, it didn't seem to be a hamper to the breeding looking for high protein content; it was possible, for the most of the populations, to maintain the average of grain yield and physiological seed quality statistically equal ($p>0,05$) to the ones of their respective recurrent parents and to obtain, simultaneously, protein content higher than of these parents; the population CD206-CR presented families bearing the highest protein content in the seeds and despite the presence of high heritability for protein content and intermediate for grain yield, the negative

genetic correlation between them did not allow their simultaneous selection; it was possible, in other populations, to select families which presented positive selection gains, regarding protein content in the seeds, while keeping the grain yield averages equal to the ones of the respective recurrent parents; the character protein yield per plant followed the same tendencies of grain yield per plant; the population CD201-RC presented positive correlations of protein content with protein and grain yields; the three grain yield component characters presented positive direct effects for both grain and protein yields; the direct effect of the protein content on protein yield was positive, though, small; and the grain yield per plant was the main factor contributing for protein yield per plant. The results found in this study will be used to continue the part of the Bioagro/ UFV Soybean Breeding Program that aims, primarily, to obtain soybean lines bearing high protein content in the seeds.

INTRODUÇÃO

A soja é uma leguminosa cultivada pelos chineses há cerca de cinco mil anos. Sua espécie mais antiga, a soja selvagem, crescia principalmente nas terras baixas e úmidas, junto aos juncos nas proximidades dos lagos e rios da China Central. Há três mil anos a soja se espalhou pela Ásia, onde começou a ser utilizada como alimento. Foi no início do século XX, que esta passou a ser cultivada comercialmente nos Estados Unidos. A partir de então, houve rápido crescimento na produção, com o desenvolvimento dos primeiros cultivares comerciais. A soja foi trazida para o Brasil em 1822. Nesse ano, Gustavo D'Utra relatou os resultados dos primeiros testes feitos com algumas variedades no Estado da Bahia. A partir de então, diversos estudos foram feitos em diferentes pontos do país (EMBRAPA SOJA, 2001).

Vários subprodutos são originários da soja, dentre os quais os principais são a proteína e o óleo. A proteína de soja dá origem a produtos comestíveis, tais como ingredientes de padaria, massas, produtos de carne, cereais, misturas preparadas, bebidas, alimentação para bebês e alimentos dietéticos. A soja é, também, utilizada na alimentação animal e pela indústria de adesivos, adubos, espumas, fibra, revestimento, papel, emulsão para tintas e produtos para outras aplicações (EMBRAPA SOJA, 2001).

Atualmente, a demanda da indústria é de um grão com maior teor de proteína, porém esse fator está inversamente relacionado ao aumento da produtividade da soja. Dessa maneira, nem sempre os cultivares mais produtivos em campo são os mais interessantes para a indústria. Assim, pelo

melhoramento genético, deve-se tentar alcançar um ponto de equilíbrio entre o rendimento e o teor de proteína no grão (EMBRAPA/ FUNDAÇÃO MT, 2000).

O lançamento de cultivares de soja com baixo potencial de produção de sementes de alta qualidade pode determinar o insucesso de tais materiais. Nesse sentido, pode-se mencionar o lançamento do cultivar BR-9 (Savana), no início da década de 1980, para a região do Cerrado. Tal cultivar, apesar de ser bastante produtivo, produzia sementes altamente suscetíveis a danos mecânicos e à deterioração por umidade, tornando praticamente impossível a produção de sementes de alta qualidade. Tal fato motivou o desinteresse dos produtores de sementes por esse cultivar. Este incidente possibilitou a sensibilização de diversos melhoristas quanto ao problema, o que culminou com o estabelecimento de programas de melhoramento genético, em que o fator qualidade de sementes apresenta alta prioridade (FRANÇA NETO e KRZYZANOWSKI, 2000).

Segundo CARVALHO e NAKAGAWA (2000), o conhecimento da composição química é de interesse prático, porque tanto o vigor como o potencial de armazenamento de sementes são influenciados pelo teor dos compostos presentes. Ademais, conforme os mesmos autores, diferenças na rapidez de absorção de água, verificadas em diferentes espécies, estariam relacionadas, principalmente, com a composição química das sementes: quanto maior o conteúdo de proteínas, mais rapidamente a semente absorveria água.

A consequência da utilização de sementes de baixa qualidade fisiológica não é somente a necessidade de replantio, acarretando novos gastos com sementes e outros insumos. Há, também, os problemas ocasionados por baixo estande, má distribuição das plantas e desenvolvimento inadequado da lavoura (PESKE, 2000).

A herdabilidade corresponde à proporção da variabilidade total que é de natureza genética, ou ao quociente entre a variância genética e a variância total (ALLARD, 1971). A herdabilidade expressa o grau de correspondência entre o valor fenotípico e o valor genético. Somente o valor fenotípico do indivíduo pode ser diretamente medido, mas é o valor genético que determina sua influência na próxima geração. Por esta razão, a herdabilidade é utilizada em quase todas as fórmulas relacionadas com métodos de melhoramento, e

muitas decisões práticas sobre procedimentos a serem usados dependem de sua magnitude (FALCONER, 1987).

A possibilidade da predição dos ganhos obtidos por uma estratégia de seleção constitui-se em uma das principais contribuições da Genética Quantitativa. Por meio destas informações, é possível orientar de maneira mais efetiva o programa de melhoramento, predizer o sucesso do esquema seletivo adotado e decidir, com base científica, por técnicas alternativas que possam ser mais eficazes (CRUZ e REGAZZI, 1997).

A correlação entre caracteres reflete o grau de associação entre os mesmos. O conhecimento da associação entre caracteres é de grande importância nos trabalhos de melhoramento, principalmente se a seleção em um deles apresenta dificuldades, em razão da baixa herdabilidade e, ou, tenha problemas de medição e identificação. A correlação que pode ser diretamente mensurada a partir de medidas de dois caracteres, em certo número de indivíduos da população, é a fenotípica. Esta correlação tem causas genéticas e ambientais, porém só as genéticas envolvem uma associação de natureza herdável, podendo, por conseguinte, ser utilizada na orientação de programas de melhoramento (CRUZ E REGAZZI, 1997).

A correlação não envolve qualquer inferência quanto à natureza da relação entre as variáveis. Seria desejável usar um método de análise que pudesse combinar o conhecimento do grau de relacionamento fornecido pelo coeficiente de correlação, com as relações causa-efeito. Nos casos em que há uma rede de causas e efeitos, as inter-relações poderiam ser melhor compreendidas se um coeficiente pudesse ser atribuído a cada trilha, num diagrama designado para indicar a influência direta dos caracteres nessas trilhas. Esse coeficiente é o que se denomina coeficiente de trilha (WRIGHT, 1921).

A análise de trilha (ou "path analysis") consiste no estudo dos efeitos diretos e indiretos de caracteres sobre uma variável principal, normalmente a produção, cujas estimativas são obtidas por meio de equações de regressão, em que as variáveis são previamente padronizadas (CRUZ e REGAZZI, 1997).

Nesse contexto, objetivou-se, no presente trabalho: *i*) determinar as conseqüências da seleção para alto teor protéico em sementes de soja, sobre a qualidade fisiológica das mesmas e sobre a produção de grãos; *ii*) mostrar a

possibilidade de se selecionar linhagens portadoras de alto teor de proteína na semente, sem prejuízos à produção de grãos; e *iii*) obter informações sobre oito populações de soja, por meio da estimação de correlações fenotípicas entre diferentes caracteres agronômicos e teor protéico na semente e verificar, mediante o uso da análise de trilha, os efeitos diretos e indiretos desses caracteres e do teor protéico, na produção de grãos e na produção de proteína por planta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLARD, R.W. **Princípios do melhoramento genético das plantas**. São Paulo: Edgard Blücher, 1971. 381p.
- CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. (Ed.) **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. Ed. Jaboticabal: Funep, 2000, 588p.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 1997. 390p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- Centro Nacional de Pesquisa de Soja/ FUNDAÇÃO MATO GROSSO. **Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil 2000/01**. Londrina: Embrapa Soja/ Fundação MT. 2000. 245p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil 2001/2002**. Londrina: Embrapa Soja. 2001. 267p. [Documentos 167].
- FALCONER. D.S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa MG: UFV, 1987. 279p.
- FRANÇA NETO, J.B.; KRZYZANOWSKY, F.C. Tecnologia de sementes e o melhoramento de plantas. In: Biowork III – biotecnologia e produção de sementes. Viçosa, 2000. **Anais...** Viçosa, UFV, 2000. p.71-101.
- PESKE, S.T. Qualidade de semente de soja e produtividade. In: **Tecnologia e competitividade da soja no mercado global**. Cuiabá, 2000. **Anais**. Cuiabá: Fundação Mato Grosso, 2000. p. 15-17.
- WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of agricultural reasearch**, v. 20, p 557-585, 1921.

ARTIGO 1

INFLUÊNCIA DA SELEÇÃO PARA ALTO TEOR PROTÉICO NA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES E PRODUÇÃO DE GRÃOS EM SOJA

RESUMO

Objetivou-se, no presente trabalho, determinar as conseqüências da seleção visando-se alto teor protéico em sementes de soja sobre a qualidade fisiológica das mesmas e sobre a produção de grãos. Para tal, utilizaram-se quatro populações RC_1F_4 e quatro F_4 , originárias, cada uma, do cruzamento de um material portador de alto teor protéico na semente e uma variedade comercial. Realizaram-se análises de variâncias e estimaram-se as médias e correlações fenotípicas. Houve tendência da seleção para alto teor protéico influenciar negativamente a qualidade fisiológica das sementes, todavia, foi possível selecionar materiais com alto teor de proteína e boa qualidade de sementes; a correlação entre teor de proteína na semente e produção de grãos foi variável entre as populações analisadas, tendendo, todavia, a ser negativa; foi possível, para a maioria das populações, manter as médias de produção de grãos e qualidade fisiológica das sementes estatisticamente iguais ($p>0,05$) às de seus respectivos progenitores recorrentes e obter, simultaneamente, teor protéico mais elevado que o destes progenitores.

ABSTRACT

INFLUENCE OF THE SELECTION FOR HIGH PROTEIN ON THE PHYSIOLOGICAL QUALITY OF THE SEEDS AND IN THE GRAIN YIELD IN SOYBEAN.

It was aimed, in the present work, to determine the consequences of the selection for high protein in soybean seeds, on the physiological seed quality and on the grain yield. For such, four populations RC_1F_4 and four F_4 were used, originated, each one, from the crossing of a genotype bearing high protein in the seed and a commercial variety. Analyses of variances were accomplished and the averages and phenotypic correlations of the populations were estimated. There was tendency of the selection for high protein negatively influence the physiological seed quality, though, it was possible to select materials bearing both, high protein content and good physiological quality of the seeds ; the correlation between protein content and grain yield was variable among the populations analyzed, tending, however, to be negative; it was possible, for most of the populations, to maintain the averages of grain yield and physiological quality of the seeds statistically equal ($p>0,05$) to the ones of their respective recurrent parents and to obtain, simultaneously, higher seed protein content than of these parents.

INTRODUÇÃO

A soja é uma cultura de grande importância para a humanidade, em razão da farta aplicabilidade de seus produtos e da facilidade de seu cultivo, motivo pelo qual vem se expandindo em nosso país. Atualmente, a demanda da indústria é de um grão com maior teor de proteína, porém esse fator está inversamente relacionado ao aumento da produtividade da soja. Dessa maneira, nem sempre os cultivares mais produtivos em campo são os mais interessantes para a indústria. Assim, pelo melhoramento genético, deve-se tentar alcançar um ponto de equilíbrio entre o rendimento e o teor de proteína no grão (EMBRAPA/ FUNDAÇÃO MT, 2000).

A proteína é um componente da semente de soja de grande valor econômico. Em média, o teor de proteína nos cultivares comerciais está em torno de 40%. Todavia, existem introduções com percentuais variando de aproximadamente 30 a 53%. Nos últimos anos, os programas de melhoramento têm dado ênfase ao aumento do teor de proteína e também à melhoria de sua qualidade (SEDIYAMA et al., 1996 e SEDIYAMA et al., 1999).

A semente deve apresentar alta capacidade de germinação e alto grau de vigor, ausência de rachadura no tegumento, tamanho uniforme variando de 13 a 15 g /100 sementes e boa capacidade de armazenamento em condições ambientes, até a safra do ano seguinte. Deve-se dar preferência aos cultivares que apresentam pelo menos 80% de germinação e alto vigor, quando colhidos entre duas e três semanas após a maturação de 95% das vagens. Um dos testes utilizados para selecionar famílias com sementes de melhor qualidade

fisiológica é o envelhecimento precoce, seguido do teste de emergência de plântulas em leito de areia (SEDIYAMA et al., 1999).

Diferenças na rapidez de absorção de água, verificadas em diferentes espécies estariam, segundo CARVALHO e NAKAGAWA (2000), relacionadas, principalmente, com a composição química das sementes: quanto maior o conteúdo de proteína, mais rapidamente a semente absorveria água.

A correlação entre caracteres reflete o grau de associação entre os mesmos. Em programas de melhoramento, geralmente, além de se visar o aprimoramento de um caráter principal, busca-se, também, manter ou melhorar a expressão de outros. Assim sendo, determinar a correlação entre os mesmos torna-se particularmente importante, visto que possibilita o conhecimento de como a seleção para determinado caráter influencia a expressão de outros (PIOVESAN, 2000).

A correlação entre caracteres, segundo FALCONER (1987), tem duas causas principais, uma genética e outra de ambiente. As causas genéticas são, principalmente, a pleiotropia e o desequilíbrio de ligação gênica, sendo o desequilíbrio de ligação gênica uma causa transitória. A correlação de ambiente entre caracteres ocorre quando os mesmos são influenciados pelas mesmas diferenças do ambiente. A correlação pode ser estimada em três níveis: fenotípico, genotípico e de ambiente. Em nível fenotípico, estão envolvidas tanto as causas genéticas como as de ambiente.

Nesse contexto, objetivou-se, no presente trabalho, determinar as conseqüências da seleção visando-se alto teor protéico em sementes de soja, sobre a qualidade fisiológica das mesmas – avaliada pelos testes de emergência de plântulas em leito de areia e envelhecimento acelerado – e sobre a produção de grãos.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa – MG, e constou de duas partes: a primeira, de campo, e a segunda, de laboratório. A primeira parte do experimento foi conduzida no Campo Experimental “Professor Diogo Alves de Melo”, situado a 20° 45’ 20” LS, altitude de 650 m e a segunda, em laboratórios do Departamento de Fitotecnia e do Instituto de Biotecnologia Aplicada à Agropecuária (BIOAGRO).

Foram utilizadas oito populações, conduzidas no Programa de Melhoramento de Soja do BIOAGRO/UFV, em convênio com a Cooperativa Central Agropecuária de Desenvolvimento Tecnológico e Econômico Ltda. (COODETEC). As famílias utilizadas, as quais compunham as populações, encontravam-se na quarta geração de autofecundação após hibridação artificial (F_4) ou na quarta geração de autofecundação após retrocruzamento (RC_1F_4) e são originárias, cada uma, do cruzamento de um material de alto teor protéico - progenitor doador - com uma variedade comercial - progenitor recorrente.

As referidas famílias foram conduzidas, até as gerações F_4 ou RC_1F_4 , pelo Programa de Melhoramento de Soja do BIOAGRO/UFV. Como progenitores recorrentes utilizaram-se variedades comerciais, de propriedade da COODETEC, portadoras de caracteres agronômicos desejáveis e os doadores foram escolhidos com base em suas capacidades geral e específica de combinação. Na geração F_2 , selecionaram-se, em cada família, pelo método do ácido bicinconínico, 10% (em torno de 30 sementes) das sementes com maior teor protéico. Procedeu-se a análise do teor protéico, pelo método Kjeldahl, das sementes F_3 . As quatro plantas (sementes), geneticamente mais

próximas do progenitor recorrente e com maior teor protéico, dentro de cada família foram, então, selecionadas, abrindo-se, a partir delas, famílias (progênes) que foram, sucessivamente, autofecundadas e colhidas em *bulks*.

Foram plantadas, em 12/01/01, as populações (F4 ou RC1F4) provenientes de retrocruzamento (RC): OC13RC, CD201RC, CD205RC e CD206RC, compostas, respectivamente, por 17, 13, 20 e 11 famílias; as populações originárias de cruzamento (CR): OC13CR, CD201CR, CD205CR e CD206CR, compostas, respectivamente, por 23, 22, 20 e 17 famílias; os respectivos progenitores recorrentes - variedades comerciais Ocepar 13 (OC13-P), Coodetec 201 (CD201-P), Coodetec 205 (CD205-P) e Coodetec 206 (CD206-P), com, respectivamente, 6, 6, 5 e 3 repetições - e três variedades comerciais utilizadas como testemunhas: CAC1 (CAC1-T), Coodetec 203 (CD203-T) e Coodetec 205 (CD205-T), plantadas em 20 blocos. O progenitor doador para as populações (RC e CR) OC13 e CD205 foi o material IAC12PTN, para a população CD201 foi o BR 80 14887 e para a população CD206, o material CAC1PTN. Os teores protéicos médios nas sementes dos três progenitores doadores são, respectivamente, 51,00, 47,80 e 54,20%.

Cada parcela experimental foi constituída de 20 sementes, plantadas em campo, em fileira de 2 metros, espaçadas de 0,5 metro. As sementes foram tratadas com fungicidas Benomyl e Metalaxyl + Mancozeb e também com inoculante turfoso da bactéria *Bradyrhizobium japonicum*. Utilizou-se, ainda, o herbicida pré-emergente Sulfentrazone, na dosagem de 60g p.a. x ha⁻¹. A adubação de plantio foi de 400 kg de 00-30-10 x ha⁻¹. Durante o desenvolvimento da cultura, efetuaram-se os tratos culturais necessários e irrigação complementar, por aspersão convencional.

A colheita foi realizada dez dias depois que 50% das plantas da fileira atingiram o estágio R8 da escala de FEHR e CAVINESS (FEHR e CAVINESS, 1977). Foram utilizadas seis plantas mais centrais de cada fileira, sendo mensurados os seguintes caracteres agrônômicos: *i*) número de sementes por planta: após a debulha manual das vagens, de cada planta individualmente, foi contado o número total de sementes por planta; *ii*) Produção por planta: obtido pela pesagem do total das sementes de cada planta; e *iii*) peso de 100 sementes.

Após a colheita, as sementes foram mantidas em câmara fria, a 10°C e 60% de umidade relativa do ar, até a realização dos testes de laboratório. Ao retirá-las, as mesmas foram mantidas à temperatura ambiente por 48 horas, para que pudessem atingir a umidade de equilíbrio. Só então, foi determinado o peso de cem sementes e foram realizadas as análises de laboratório.

A determinação do teor de proteínas totais das sementes foi realizada segundo o método Kjeldahl modificado (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985). As análises foram feitas com duas repetições e, caso apresentassem diferença entre si, maior ou igual a um por cento, eram refeitas. Tomaram-se três sementes de cada uma das seis plantas representativas da parcela e formaram-se *bulks* com 18 sementes, formando, cada *bulk*, uma amostra a ser analisada. O fator utilizado para conversão do teor de nitrogênio em proteína foi 6,25 (AOAC, 1984).

Para realização do teste de emergência em leito de areia (ELA) foram tomadas ao acaso, para cada tratamento, 3 repetições de 40 sementes. Como substrato, utilizou-se areia lavada, peneirada em peneira “para feijão”, e tratada com brometo de metila. A areia foi colocada em bandejas de 30,0 x 25,0 x 5,0 cm nas quais foram feitos 6 sulcos, compreendendo, cada sulco, uma parcela. O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação, com umidade relativa próxima de 85% e temperatura entre 21 e 35°C. A contagem do número de plântulas normais foi feita aos cinco e oito dias após o plantio. Os valores obtidos nas contagens foram transformados em porcentagem.

A metodologia seguida para realização do teste de envelhecimento acelerado (TEA) foi a descrita por MARCOS FILHO (1999b), modificada. Primeiramente, foram aferidas a regulagem e a variação de temperatura da câmara *BOD*. Para cada tratamento, tomaram-se três repetições de 50 sementes, as quais foram dispostas em caixas plásticas tipo gerbox (11,0 x 11,0 x 3,0 cm), contendo uma tela, à altura mediana, sobre a qual foram dispostas as sementes. Acima da tela, as caixas foram subdivididas em quatro compartimentos, por meio da utilização de armação montada com canudos plásticos, de modo que se pudesse dispor quatro repetições de tratamentos distintos - totalizando 200 sementes - em cada gerbox. Dentro de cada gerbox, abaixo da tela onde estavam as sementes, foi, previamente, colocado 40 mL de água, a fim de se manter a umidade próxima de 100%. Na seqüência, as mini-

câmaras (gerbox) foram fechadas com as respectivas tampas e levadas à câmara tipo BOD, onde foram mantidas por 48 horas a 41°C. Concluído o envelhecimento, efetuou-se o teste de germinação, conforme disposto nas Regras para Análises de Sementes, BRASIL (1992). Como substrato utilizou-se rolo de papel *germitest* umedecido em volume de água equivalente a 2,5 vezes o seu peso. Os rolos de papel, contendo as sementes foram levados ao germinador, onde foram dispostos verticalmente e mantidos a 25°C e umidade relativa próxima a 100%. A contagem do número de plântulas normais foi feita aos cinco dias após as sementes terem sido postas no germinador. Os valores obtidos foram transformados em porcentagem.

Tanto para o teste de emergência em leito de areia como para o envelhecimento acelerado, a discrepância tolerável entre repetições – disposta em MILES (1963) - foi checada, segundo as Regras para Análises de Sementes (BRASIL, 1992). Ainda, com relação aos testes de qualidade fisiológica de sementes (ELA e TEA), os dados, após calculados os resultados em porcentagem, foram transformados em arco seno raiz de porcentagem, a fim de aproximá-los à distribuição normal. Realizadas as análises estatísticas, os resultados foram destransformados em porcentagem, unidade que estão apresentados.

O delineamento experimental utilizado foi famílias com testemunhas intercalares (CRUZ, 2001), em que as fileiras de famílias foram plantadas com apenas uma repetição, em razão do reduzido número de sementes disponíveis. Dentro de cada população, as fileiras de famílias constituíram as repetições. As 20 repetições (blocos) de testemunhas dispostas ao longo do experimento, a cada 10 fileiras, possibilitaram a comparação entre os blocos e, assim, verificar a homogeneidade do ambiente. Foram realizadas as análises de variância e estimadas as médias e correlações fenotípicas das populações. Para realização das análises estatísticas foi empregado o programa computacional SAEG.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, procedeu-se a análise de variância das 20 repetições (blocos) de testemunhas utilizadas no experimento, a fim de se checar a influência de possíveis variações ambientais sobre os resultados. Conforme o que se apresenta na Tabela 1, não houve diferenças significativas entre os blocos de testemunhas, para os caracteres avaliados, o que indica que as variações ambientais estavam uniformemente distribuídas. Dessa forma, não se fez necessário corrigir os dados relativos às populações, para se compará-los. Ainda na Tabela 1, pode-se observar que houve diferença significativa entre as variedades testemunhas, quanto aos caracteres produção de grãos por planta e teor de proteína na semente, o que sugere a existência de variabilidade entre as testemunhas, quanto aos mesmos.

A precisão do experimento, avaliada por meio dos coeficientes de variação experimental, mostrou-se em níveis: bom a médio. De acordo com PIMENTEL GOMES (1984), em experimentação agrônômica, valores menores que 10% indicam experimento de alta precisão; entre 10 e 20%, média precisão; entre 20 e 30%, baixa; e maior que 30%, precisão muito baixa. Estando os coeficientes de variação em níveis adequados, pressupõe-se, também, confiabilidade dos dados.

Observa-se (Tabela 1) que os tratamentos apresentaram diferença significativa quanto a todos os caracteres, quando a fonte de variação foi “Populações”. Comparando-se os progenitores (P) entre si, bem como,

Tabela 1- Análise de variância dos caracteres produção de grãos por planta (PROD), teor de proteína na semente (PROT), emergência de plântulas em leito de areia (ELA) e germinação após envelhecimento acelerado (TEA), entre material genético (P+T+PP); progenitores (P); testemunhas (T); populações (PP) e entre P, T e PP

F.V.	gl	Quadrados Médios			
		PROD	PROT	ELA	TEA
(P+T+PP)	14	256,01**	128,23**	151,25**	541,76**
ERRO	201	15,25	3,82	39,45	103,03
CV(%)		21,43	4,43	8,28	15,70

Progenitores	3	33,08	11,58**	38,07	232,51
ERRO	16	17,66	1,91	16,34	113,80
CV(%)		20,04	3,30	5,33	16,01

BLOCOS de T	19	16,29	1,25	41,46	90,58
Testemunhas	2	63,72**	33,01**	12,10	120,64
ERRO	38	11,83	1,68	55,48	99,75
CV(%)		17,74	3,29	10,33	15,51

Populações	7	412,28**	29,40**	266,49**	903,28**
ERRO	135	15,00	4,82	35,35	99,08
CV(%)		22,95	4,85	7,94	15,86

Entre P, T e PP	2	17,46	39,14**	5,59	24,28
ERRO	12	20,56	1,94	11,05	42,54
CV(%)		23,74	3,23	4,43	10,13

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

eles com as Testemunhas (T) e Populações (PP), encontrou-se diferença estatística apenas quanto ao caráter teor de proteína na semente (PROT).

Como pode ser visto na Tabela 2, todas as populações – tendo, as famílias, passado por seleção visando-se alto teor protéico - apresentaram, como esperado, tendência a conterem teores médios de proteína mais elevados que os de seus progenitores recorrentes, sendo que todas as famílias “CR” e a CD205-RC foram, estatisticamente, superiores aos progenitores recorrentes, quanto a este caráter. Enquanto as sementes de soja atualmente no mercado têm, em média, 40% de proteína (SEDIYAMA et al., 1996), o teor protéico médio das populações analisadas foi de 45,06%.

Para a emergência de plântulas em leito de areia (Tabela 2) a população CD206-CR apresentou média, significativamente, menor que a das populações OC13-RC, CD205-CR e CD206-RC. Todavia, os resultados obtidos, para todas as populações, permitem classificá-las como portadoras de boa qualidade fisiológica de sementes, visto que segundo SEDIYAMA et al. (1999), para um

Tabela 2- Médias dos caracteres produção de grãos (PROD), teor protéico (PROT), emergência de plântulas em leito de areia (ELA) e envelhecimento acelerado (TEA) de cada população, dos progenitores recorrentes (P), das testemunhas e populações*

Populações	PROD (g/planta)		PROT (%)		ELA (%)	TEA (%)
OC13-RC	13,01	D	45,70	abc	94,86 a	86,88 A
OC13-CR	14,01	D	46,08	ab	92,54 ab	74,71 A
CD201-RC	21,47	B	43,03	de	94,37 ab	82,64 A
CD201-CR	14,68	Cd	45,66	abc	94,05 ab	84,77 A
CD205-RC	13,61	D	44,81	bcd	92,35 ab	78,63 A
CD205-CR	18,61	Bc	44,39	bcd	96,08 a	83,50 A
CD206-RC	29,58	A	43,50	cde	95,95 a	86,03 A
CD206-CR	17,63	Bcd	47,26	a	83,59 b	52,56 B
OC13-P	18,20	Bcd	43,61	cde	90,69 ab	71,34 Ab
CD201-P	22,22	B	40,97	ef	95,11 a	88,21 A
CD205-P	20,52	Bc	40,40	efg	95,61 a	89,71 A
CD206-P	24,75	Ab	42,43	de	94,85 ab	88,55 A
CAC1-T	18,58	Bc	38,06	fg	92,02 ab	81,45 A
CD203-T	18,16	Bcd	39,47	ef	92,63 ab	84,47 A
CD205-T	21,44	B	40,63	g	91,15 ab	77,79 A
Progenitores (P)	21,43	A	41,85	b	94,20 a	85,07 A
Testemunhas	19,39	A	39,39	b	91,94 a	81,32 A
Populações	17,82	A	45,06	a	93,32 a	79,39 A

* Médias seguidas por pelo menos uma letra igual, na coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

lote de sementes ter bom desempenho no campo, deve apresentar valores acima de 80% de germinação. Utilizou-se tal critério pelo fato de representar, razoavelmente, as condições e critérios de produção de sementes de soja praticados no Brasil, segundo os quais, para a comercialização das sementes de soja, é necessário que o lote apresente germinação mínima de 80% (BRASIL, 1981).

Outro motivo para utilização desse critério reside no fato de as sementes, neste experimento, não terem passado por qualquer tipo de seleção ou classificação, que, segundo OLIVEIRA et al. (1999), podem melhorar a qualidade fisiológica das sementes. Por outro lado, de acordo com EGLI e TEKRONY (1995), um lote de sementes tem alta probabilidade de apresentar germinação adequada em campo sob variadas condições de ambiente, se apresentar germinação superior a 95% e vigor acima de 80%. A utilização de um ou outro critério dependerá, fundamentalmente, da finalidade do lote de sementes.

Não houve diferença significativa entre a maioria das médias das populações, quanto ao envelhecimento acelerado; somente a população CD206-CR apresentou média estatisticamente menor que das demais, que variaram entre 71,34% — OC13-P — e 89,71% — CD205-P. Apesar da dificuldade de padronização de metodologias, principal motivo para a não inclusão de métodos para avaliação do vigor nas Regras para Análise de Sementes (MARCOS FILHO, 1999a), a AOSA (Association of Official Seed analysts) considera como praticamente padronizado o teste de envelhecimento acelerado para sementes de soja (HAMPTON e TEKRONY, 1995, citados por MARCOS FILHO, 1999a). Desse modo, tendo-se por referência alguns valores mais freqüentemente encontrados na literatura (BRACCINI et al., 1994; BRACCINI et al., 1997; OLIVEIRA et al., 1999; SANTOS et al., 2000), pode-se dizer que os resultados obtidos estão condizentes com os apresentados para lotes portadores de boa germinação, exceto para a população CD206-CR, que, apesar de ter apresentado razoável emergência (ELA), não apresentou o mesmo desempenho para vigor (TEA), indicando não apresentar um bom potencial para armazenamento, entre outros.

Comparando-se as produções médias das populações (Tabela 2), com as dos respectivos progenitores, verifica-se que, à exceção das populações CD201-CR e CD205-RC, que apresentaram produção inferior às de seus respectivos progenitores recorrentes, as populações apresentaram produção, estatisticamente, igual a de seus progenitores recorrentes, havendo, todavia, tendência de suas produções serem menores que as dos referidos progenitores.

Quando se comparou as médias dos progenitores, das testemunhas e das populações (Tabela 2), observou-se que estas apresentaram, estatisticamente, maior teor protéico e tendência, sem diferença estatística, a menor produção de grãos e qualidade fisiológica das sementes — principalmente no teste de envelhecimento acelerado, que é utilizado para avaliar ou detectar diferenças significativas na qualidade fisiológica de lotes com germinação semelhante, complementando as informações fornecidas pelo teste de germinação (MARCOS FILHO, 1999a).

Na Tabela 3, são apresentadas correlações entre os caracteres

Tabela 3 Correlações fenotípicas entre os caracteres produção de grãos por planta (PROD), teor protéico na semente (PROT), emergência de plântulas em leito de areia (ELA) e germinação após envelhecimento acelerado (TEA), dentro das populações analisadas

Populações	PROD/ ELA	PROD/ TEA	ELA/ TEA	PROT/ PROD	PROT/ ELA	PROT/ TEA
OC13-RC	0,29	0,21	0,63**	-0,27	-0,18	0,45*
OC13-CR	0,18	-0,16	0,43*	-0,29	-0,19	-0,50**
CD201-RC	0,09	0,03	0,70**	0,35	-0,54*	-0,49*
CD201-CR	-0,07	-0,01	0,71**	-0,41*	-0,13	-0,04
CD205-RC	0,11	0,16	0,58**	-0,49*	-0,34	-0,40*
CD205-CR	-0,28	-0,46*	0,87**	-0,09	0,14	0,09
CD206-RC	-0,58*	-0,18	0,71**	-0,21	0,24	0,00
CD206-CR	-0,34	-0,21	0,55*	-0,29	0,24	-0,02

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

produção de grãos por planta (PROD), teor protéico na semente (PROT), emergência de plântulas em leito de areia (ELA) e germinação após envelhecimento acelerado (TEA), para cada uma das oito populações estudadas. Em todos os níveis encontraram-se resultados variados, para diferentes populações; exceção à correlação entre ELA e TEA, que foi positiva e significativa para todas elas.

Quando se analisou, em conjunto, as médias das oito populações, obteve-se correlações negativas e significativas de PROT com PROD, ELA e TEA (Tabela 4). As correlações entre ELA e TEA foram positivas e significativas. Ambos os caracteres que mensuram a qualidade fisiológica das sementes apresentaram correlações positivas, embora baixas e não significativas, com produção de grãos (PROD).

Os resultados de correlações entre teor protéico e produção de grãos, em soja, mais freqüentemente encontrados na literatura, apontam correlação negativa entre esses caracteres (JOHNSON et al., 1955; KNOW e TORRIE, 1964; THORNE e FEHR, 1970; SHANNON et al., 1972; SMITH e CIRCLE, 1978; WEHRMANN et al., 1987). Não obstante, apenas as populações CD201-CR e CD205-RC apresentaram, quando analisadas individualmente, correlações negativas significativas entre os referidos caracteres (Tabela 3). O fato de as famílias terem sido selecionadas para alto teor protéico e, ao mesmo tempo, para proximidade genética aos progenitores recorrentes, reduz as

Tabela 4 Correlações fenotípicas entre os caracteres produção de grãos por planta (PROD), teor protéico na semente (PROT), emergência de plântulas em leito de areia (ELA) e germinação após envelhecimento acelerado (TEA), relativas às médias das populações, quando analisadas em conjunto

Caracteres	PROT	ELA	TEA
PROD	-0,64*	0,28	0,17
PROT		-0,74*	-0,68*
ELA			0,96**

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

correlações entre esses caracteres, já que os extremos opostos são descartados. Ainda, quanto aos mesmos caracteres, os resultados encontrados por HOLBROOK et al. (1989), citados por PIOVESAN (2000), WILCOX e CAVINS (1995) e SCOTT e KEPHART (1997) mostram a possibilidade de se selecionar famílias de alto teor protéico, sem, contudo, haver prejuízos à produção de grãos, ou vice-versa. Exceto para as famílias CD201-CR e CD205-RC, que apresentaram correlação negativa e significativa entre teor protéico na semente e produção de grãos (PROT e PROD), as correlações entre esses caracteres, para cada uma das demais famílias não foram consistentes, embora não tenham sido significativas. Foi encontrada, inclusive, correlação positiva – família CD201-RC – entre PROT e PROD. Quando analisadas em conjunto, todavia, predominou o efeito negativo da seleção, visando-se alto teor protéico sobre a produção de grãos, resultando em correlação negativa e significativa entre esses caracteres (Tabela 4).

Entre PROT e os caracteres que mensuram a qualidade fisiológica das sementes (ELA ou TEA), as correlações não foram consistentes, quando se analisaram as famílias isoladamente (Tabela 3). Pode-se, dessa forma, inferir que os caracteres genéticos da planta terão papel fundamental na determinação destas correlações, já que foi a única variável entre as famílias analisadas neste experimento. A obtenção de correlação negativa e significativa quanto a esses caracteres, quando o cálculo foi feito analisando-se as famílias em conjunto (Tabela 4), indica o efeito indireto prejudicial da seleção, visando-se alto teor protéico sobre a qualidade fisiológica das sementes. Não obstante, devido às médias de qualidade fisiológica de sementes terem se apresentado em níveis satisfatórios (Tabela 2), a redução

da qualidade fisiológica das sementes não parece ser um empecilho ao melhoramento visando-se alto teor protéico nos grãos de soja. SIMPSON e WILCOX (1983), analisando sementes de soja, na geração F₆ e F₇, originárias do cruzamento de variedades portadoras de alto teor protéico, com variedades de alta produção de grãos encontraram, também, correlação negativa e significativa entre teor protéico e qualidade fisiológica de sementes — esta, baseada em escala de notas — para três dos quatro cruzamentos analisados, sendo que, o quarto cruzamento, apresentou correlação muito baixa (0,07) entre esses caracteres. Correlações positivas e significativas entre teor de proteína da semente e “vigor” das plântulas — medido na forma de peso dos brotos — foram encontradas por RIES et al. (1971), citados por LOWE e RIES (1972), trabalhando com feijão e por LOWE e RIES (1972), LOWE et al. (1972) e RIES e EVERSON (1973), trabalhando com trigo. Todavia, esses dados são referentes a populações portadoras de alto teor protéico por terem sido submetidas a altas doses de nitrogênio e não devido a melhoramento genético, como no presente caso. Dessa forma, as altas doses de nitrogênio, aplicadas nas plantas genitoras, poderiam estar contribuindo para que as mesmas fossem mais vigorosas e originassem, não só sementes de maior teor protéico, mas também de melhor qualidade fisiológica. Assim, quando postas em condições favoráveis à germinação, as sementes de maior teor protéico — e de maior vigor — originariam, por serem mais sadias, brotos mais vigorosos.

A correlação entre produção de grãos e os caracteres que medem da qualidade fisiológica das sementes não se mostrou consistente, sendo, todavia, na avaliação conjunta das famílias, positiva, mas de baixa magnitude.

CONCLUSÕES

Pela análise dos resultados, pôde-se concluir que houve tendência da seleção para alto teor protéico influenciar, negativamente, a qualidade fisiológica das sementes; todavia, não parecendo ser este um fator limitante ao melhoramento visando-se alto teor de proteína em sementes de soja; a correlação entre teor de proteína na semente e produção de grãos foi variável, entre as populações analisadas, tendendo, no entanto, a ser negativa; foi possível, para a maioria das populações - tendo, as famílias, sido selecionadas para alto teor de proteína na semente e para proximidade genética ao progenitor recorrente - manter as médias de produção de grãos e qualidade fisiológica das sementes estatisticamente iguais ($p > 0,05$) às de seus respectivos progenitores recorrentes e obter, simultaneamente, teores protéicos mais elevados que os destes progenitores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC (Association of official analytical chemistry). WILLIAMS, S. (Ed.). **Official methods of analysis**. The William Byrd Press Inc.: Richmond, 14 ed. Virginia, 1984. 1441p.
- BRACCINI, A. L.; REIS, M.S.; SEDIYAMA. C.S.; SEDIYAMA, T. Avaliação da qualidade fisiológica e sanitária da semente de genótipos de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) com diferentes graus de impermeabilidade do tegumento. **Revista Brasileira de Sementes**. Brasília, v. 16, n.2, p. 195- 200, 1994.
- BRACCINI, A. L.; REIS, M. S.; SEDIYAMA. C.S.; ROCHA, V.S.; SEDIYAMA, T. Influência do processo de hidratação-desidratação na qualidade fisiológica de sementes de soja durante o armazenamento. **Revista brasileira de sementes**. Brasília, v.19, n.1, p. 80- 87, 1997.
- BRASIL, Resolução nº 4, de 8 de julho de 1981. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Diário Oficial da União**. Brasília, 10 de julho de 1981.
- BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, SNAD/ DNDV/ CLAV, 1992.365p.
- CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. (Ed.) **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. Ed. Jaboticabal: Funep, 2000, 588p.
- CRUZ, C.D. **Programa Genes: versão windows, aplicativo computacional em genética e estatística**. Viçosa, MG: UFV, 2001. 648p.:il.
- EGLI, D.B.; TEKRONY,D.M., Soybean seed germination, vigor and field emergence. **Seed science & technology**. Bassersford, v.23, n.3, p. 595-607, 1995.

- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Centro Nacional de Pesquisa de Soja/ FUNDAÇÃO MATO GROSSO. **Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil 2000/01**. Londrina: Embrapa Soja/ Fundação MT. 2000. 245p.
- FALCONER. D.S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa MG: UFRV, 1987. 279p.
- FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E. **Stages of soybean development**. Ames: Cooperative Extension Service, Iowa State University, 1977. 11p.
- HAMPTON, J.G.; TEKRONY, D.M. (Ed.) **Handbook of vigor test methods**. 3rd ed. Zurich: ISTA, 1995. 117 p.
- HOLBROOK. C.C., BURTON, J.W.; CARTER JUNIOR, T.E. Evolution of recurrent restricted index selection for increasing yield while holding seed protein constant in soybean. **Crop science**. Madison, v.29, n.2, p.324-329, 1989.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do instituto Adolfo Lutz; métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 3. ed.. São Paulo, 1985. v.1, 533p.
- JOHNSON, H.W., ROBINSON, H.F.; COMSTOCK, R.E. Genotypic and phenotypic correlations in soybeans and their implications in selection. **Agronomy journal**. Madison, v.47, n.10 p.477-483, 1955.
- KWON, S.H.; TORRIE, J.H. Heritability of and interrelationships among traits of two soybean populations. **Crop science**. Madison, v.4, n.2, p.196-198, 1964.
- LOWE, L.B.; AYERS, G.S.; RIES, S.K. Relationship of seed protein and amino acid composition to seedling vigor and yield of wheat. **Agronomy journal**. Madison, v.64, n.5, p.608- 611, 1972.
- LOWE, L.B.; RIES, S.K. Effects of environment on the relation between seed protein and seedling vigor in wheat. **Canadian journal of plant science**. Ottawa, v.52, n.2, p.157- 164. 1972.
- MILES, S.R.. Handbook of tolerances and of measures of precision for seed testing. **Proceedings of the international seed testing association**. Wageningen, v.28, n.3, 1963.
- MARCOS FILHO, J. Testes de vigor: Importância e utilização. In: KRZYZANOWSKI, C. F.; VIEIRA, D. R.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999a. 218p.
- MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, C. F.; VIEIRA, D. R.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999b. 218p.

- OLIVEIRA, A., SADER, R.; KRZYZANOWSKI, F.C.. Danos mecânicos ocorridos no beneficiamento de sementes de soja e suas relações com a qualidade fisiológica. **Revista brasileira de sementes**. Brasília, v. 21, n.1, p.59-66, 1999.
- PIMENTEL GOMES, F. **A estatística moderna na pesquisa agropecuária**. Piracicaba: POTAFOS, 1984. 160p.:il.
- PIOVESAN, N.D. **Aplicação de cruzamentos dialélicos no melhoramento genético do teor protéico em soja**. Viçosa- MG: Universidade Federal de Viçosa, 2000. 91p. (Dissertação Mestrado em Genética e Melhoramento).
- RIES, S.K.; EVERSON, E.H. Protein content and seed size relationships with seedling vigor of wheat cultivars. **Agronomy journal**. Madison, v. 65, n.6, p.884-886, 1973.
- SANTOS, M. R.; REIS, M.S.; SEDIYAMA, T.; CECON, P.R.; DIAS, D.C.F.S.. Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de genótipos de soja colhidas em três regiões de Minas Gerais. **Revista brasileira de sementes**. Brasília, v. 22, n.2, p.62-71, 2000.
- SCOTT, R.A.; KEPHART, K.D.; Selection for yield, protein, and oil in soybean crosses between adapted and introduced parents. **Field crops research**. Amsterdam, v.49, n. 2,3, p.177-185, 1997.
- SEDIYAMA, T.; PEREIRA, M.G., SEDIYAMA, C.S.; GOMES, J.L.L. **Cultura da soja**.- parte II. Viçosa, 1996. 75p.
- SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R.C.; REIS, M.S.. Melhoramento da soja. In: Borém, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa - MG: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 817p.:il.
- SHANNON, J.G., WILCOX, J.R.; PROBST, A.H.. Estimated gains from selection for protein and yield in the F4 generation of six soybean populations. **Crop science**. Madison, v.12, n.6, p.824- 830, 1972.
- SIMPSON, A.C.; WILCOX, J.R. Genetic and phenotypic associations of agronomic characteristics in four high protein soybean populations. **Crop science**. Madison, v.23, n.6, p. 1077-1081, 1983.
- SMITH, A.K.; CIRCLE. S.J. **Soybeans: chemistry and technology**. Madison: Avi, 1978. 470p.
- THORNE, J.C.; FEHR. W.R. Incorporation of high-protein, exotic germplasm into soybean populations by 2- and 3-way crosses. **Crop science**. Madison, v.10, n.6, p.652-655, 1970.
- WEHRMANN, V.K, FEHR, W.R., CIANZIO, S.R.; CAVINS, J.F. Transfer of high seed protein to high-yielding soybean cultivars. **Crop science**. Madison, v.27, n.5, p.927-931, 1987.

WILCOX, J.R.; CAVINS, J.F. Backcrossing higher seed protein to a soybean cultivar. **Crop science**. Madison, v.35, n.4, p. 1036-1041, 1995.

ARTIGO 2

SELEÇÃO DE FAMÍLIAS DE SOJA COM ALTO TEOR PROTÉICO NA SEMENTE E ALTA PRODUÇÃO DE GRÃOS

RESUMO

Objetivou-se mostrar a possibilidade de se selecionar famílias de soja, portadoras de alto teor de proteína na semente sem prejuízos à produção de grãos. Para tal, utilizaram-se quatro populações RC_1F_4 e quatro F_4 , originárias, cada uma, do cruzamento de um material portador de alto teor protéico na semente e uma variedade comercial. Estimaram-se as médias, as herdabilidades, as correlações e os ganhos por seleção direta. As principais conclusões foram: *i)* a média geral do teor de proteína nas sementes das populações selecionadas foi maior que a dos progenitores recorrentes e das testemunhas; *ii)* a população CD206-CR apresentou famílias com os maiores teores de proteína nas sementes e embora tenha apresentado herdabilidade alta para esse caráter e intermediária para produção de grãos, a correlação negativa entre esses caracteres, presente nessa população, impossibilitou sua seleção simultânea; *iii)* em outras populações, foi possível selecionar famílias que apresentassem, simultaneamente, ganhos de seleção positivos quanto ao teor protéico na semente e produção de grãos.

ABSTRACT

SELECTION OF SOYBEAN FAMILIES BEARING HIGH PROTEIN CONTENT IN THE SEEDS AND HIGH YIELD

The present work aimed to show the possibility of selecting soybean families bearing high protein content in the seeds, without decreasing grain yield. For such, four RC_1F_4 and four F_4 populations were used. These populations were, each one, originated from the crossing of a high protein genotype and a commercial variety. The populations mean, heritability, correlation coefficients and gain by direct selection were estimated. The main conclusions were: *i)* the population CD206-CR presented families with the highest protein content in the seeds and despite the presence of high heritability for protein content and intermediate for grain yield, the negative genetic correlation between them did not allow their simultaneous selection; *ii)* for other populations it was possible to select families presenting both, high protein content in the seeds and high yield.

INTRODUÇÃO

A proteína é um componente da semente de soja de grande valor econômico. Em média, o teor de proteína nos cultivares comerciais está em torno de 40%. Todavia, existem acessos com percentuais variando de aproximadamente 30 a 53%. Nos últimos anos, os programas de melhoramento têm dado ênfase ao aumento do teor de proteína e também à melhoria de sua qualidade (SEDIYAMA, 1996 e SEDIYAMA, 1999).

A correlação entre caracteres reflete o grau de associação entre os mesmos. Em programas de melhoramento, geralmente, além de se visar o aprimoramento de um caráter principal, busca-se também manter ou melhorar a expressão de outros. Assim sendo, determinar a correlação entre os mesmos torna-se particularmente importante, visto que possibilita o conhecimento de como a seleção para determinado caráter influencia a expressão de outros (PIOVESAN, 2000).

Tem sido lento o progresso no desenvolvimento de materiais com alta produção e caracteres agronômicos desejáveis, das variedades existentes, aliados ao alto teor protéico, de materiais exóticos (SHANNON et al., 1972). WEHRMANN et al. (1987) obtiveram, para 95 linhagens originárias de três populações RC₂F₂, coeficientes de correlação genotípica, entre teor protéico e produção de grãos, de -0,54, -0,64 e -0,86, para linhagens descendentes de cada uma das três populações. Todavia, THORNE e FEHR (1970) conseguiram transferir o elevado teor protéico de materiais exóticos para suas progênes, possibilitando a seleção de materiais portadores de alto teor

protéico e alta produção de grãos, mesmo tendo encontrado correlação fenotípica negativa e significativa, para algumas das populações analisadas.

SHANNON et al. (1972) conduziram famílias F_2 de seis populações originárias do cruzamento entre pais com bons caracteres agronômicos e alta produção ou alta proteína. Avaliaram, na geração F_4 , quais tipos de cruzamentos (alta proteína (P) X alta proteína, alta proteína X alta produção de grãos (G) ou alta produção de grãos X alta produção de grãos) ofereceriam a melhor oportunidade para o aumento de produção de grãos, proteína ou ambos os caracteres. Populações P x G produziram o maior número de famílias com alta produção de grãos. Quase todas as famílias que apresentaram maior teor protéico foram oriundas do cruzamento de duas famílias portadoras deste caráter. O número de famílias que produziram mais proteína por hectare (combinação de produção de grãos e teor protéico) foi igualmente dividido entre, P x P e P x G. Os autores concluíram, em relação a uma população P x P, que, mesmo com uma correlação negativa e significativa (-0,28) entre proteína e produção, este valor pôde ser considerado suficientemente baixo; de modo que a seleção de materiais de alta produção e alto teor protéico não pareceu ser extremamente difícil.

Nesse contexto, objetivou-se, no presente trabalho, mostrar a possibilidade de se selecionar - dentre progênies do cruzamento de materiais portadores de alto teor protéico X materiais de alta produção de grãos - linhagens portadoras de alto teor de proteína na semente, sem haver prejuízos à produção de grãos.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa – MG, e constou de duas partes: a primeira, de campo, e a segunda, de laboratório. A primeira parte do experimento foi conduzida no Campo Experimental “Professor Diogo Alves de Melo”, situado a 20° 45’ 20” LS, altitude de 650 m e a segunda, em laboratórios do Departamento de Fitotecnia e do Instituto de Biotecnologia Aplicada à Agropecuária (BIOAGRO).

Foram utilizadas oito populações, conduzidas no Programa de Melhoramento de Soja do BIOAGRO/UFV, em convênio com a Cooperativa Central Agropecuária de Desenvolvimento Tecnológico e Econômico Ltda. (COODETEC). As famílias utilizadas, as quais compunham as populações, encontravam-se na quarta geração de autofecundação após hibridação artificial (F_4) ou na quarta geração de autofecundação após retrocruzamento (RC_1F_4) e são originárias, cada uma, do cruzamento de um material de alto teor protéico - progenitor doador - com uma variedade comercial - progenitor recorrente.

As referidas famílias foram conduzidas até as gerações F_4 ou RC_1F_4 , pelo Programa de Melhoramento de Soja do BIOAGRO/ UFV. Como progenitores recorrentes, utilizaram-se variedades comerciais, de propriedade da COODETEC, portadoras de caracteres agronômicos desejáveis e os doadores foram escolhidos com base em suas capacidades geral e específica de combinação. Na geração F_2 , selecionaram-se, em cada família, pelo método do ácido bicinconínico, 10% (em torno de 30 sementes) das sementes com maior teor protéico. Procedeu-se a análise do teor protéico, pelo método Kjeldahl, das sementes F_3 . As quatro plantas (sementes), geneticamente mais

próximas do progenitor recorrente e com maior teor protéico, dentro de cada família foram, então, selecionadas, abrindo-se, a partir delas, famílias (progênes) que foram, sucessivamente, autofecundadas e colhidas em *bulks*.

Foram plantadas, em 12/01/01, as populações (F4 ou RC1F4) provenientes de retrocruzamento (RC): OC13RC, CD201RC, CD205RC e CD206RC, compostas, respectivamente, por 17, 13, 20 e 11 famílias; as populações originárias de cruzamento (CR): OC13CR, CD201CR, CD205CR e CD206CR, compostas, respectivamente, por 23, 22, 20 e 17 famílias; os respectivos progenitores recorrentes - variedades comerciais Ocepar 13 (OC13-P), Coodetec 201 (CD201-P), Coodetec 205 (CD205-P) e Coodetec 206 (CD206-P), com, respectivamente, 6, 6, 5 e 3 repetições - e três variedades comerciais utilizadas como testemunhas: CAC1 (CAC1-T), Coodetec 203 (CD203-T) e Coodetec 205 (CD205-T), plantadas em 20 blocos. O progenitor doador para as populações (RC e CR) OC13 e CD205 foi o material IAC12PTN, para a população CD201 foi o BR 80 14887 e para a população CD206, o material CAC1PTN. Os teores protéicos médios nas sementes dos três progenitores doadores são, respectivamente, 51,00, 47,80 e 54,20%.

Cada parcela experimental foi constituída de 20 sementes, plantadas em campo, em fileira de 2 metros, espaçadas de 0,5 metro. As sementes foram tratadas com fungicidas Benomyl e Metalaxyl + Mancozeb e também com inoculante turfoso da bactéria *Bradyrhizobium japonicum*. Utilizou-se, ainda, o herbicida pré-emergente Sulfentrazone, na dosagem de 60g p.a. x ha⁻¹. A adubação de plantio foi de 400 kg de 00-30-10 x ha⁻¹. Durante o desenvolvimento da cultura, efetuaram-se os tratos culturais necessários e irrigação complementar, por aspersão convencional.

A colheita foi realizada dez dias depois que 50% das plantas da fileira atingiram o estágio R8 da escala de FEHR e CAVINESS (FEHR e CAVINESS, 1977). Foram utilizadas seis plantas mais centrais de cada fileira, sendo mensurados os seguintes caracteres agronômicos: *i*) número de sementes por planta: após a debulha manual das vagens, de cada planta individualmente, foi contado o número total de sementes por planta; *ii*) Produção por planta: obtido pela pesagem do total das sementes de cada planta; e *iii*) peso de 100 sementes.

Após a colheita, as sementes foram mantidas em câmara fria, a 10°C e 60% de umidade relativa do ar, até a realização dos testes de laboratório. Ao retirá-las, as mesmas foram mantidas à temperatura ambiente por 48 horas, para que pudessem atingir a umidade de equilíbrio. Só então foi determinado o peso de cem sementes e foram realizadas as análises de laboratório.

A determinação do teor de proteínas totais das sementes foi realizada segundo o método Kjeldahl modificado (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985). As análises foram feitas com duas repetições e, caso apresentassem diferença, entre si, maior ou igual a um por cento, eram refeitas. Tomaram-se três sementes de cada uma das seis plantas representativas da parcela e formaram-se *bulks* com 18 sementes, formando cada *bulk* uma amostra a ser analisada. O fator utilizado para conversão do teor de nitrogênio em proteína foi 6,25 (AOAC, 1984).

O delineamento utilizado foi famílias com testemunhas intercalares, em que as fileiras de famílias foram plantadas com apenas uma repetição, em razão do reduzido número de sementes disponíveis. Dentro de cada população, as fileiras de famílias constituíram as repetições. As 20 repetições (blocos) de testemunhas dispostas ao longo do experimento, a cada 10 fileiras, possibilitaram a comparação entre os blocos e, assim, verificar a homogeneidade do ambiente. Os progenitores recorrentes, da mesma forma que as testemunhas, foram dispostos a cada dez fileiras de famílias.

Foram realizadas as análises de variância e estimadas as médias, as correlações entre caracteres, as herdabilidades no sentido amplo, os ganhos por seleção direta (EBERHART, 1970, citado por CRUZ E REGAZZI, 1997) e as médias esperadas. Na estimativa do ganho de seleção direta, o diferencial de seleção foi 20%. Para realização das análises estatísticas, foram empregados os programas computacionais GENES (CRUZ, 2001) e SAEG.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, procedeu-se a análise de variância das 20 repetições (blocos) de testemunhas utilizadas no experimento, a fim de se checar a influência de possíveis variações ambientais sobre os resultados. Conforme o que se apresenta na Tabela 1, não houve diferenças significativas entre os blocos de testemunhas, para os caracteres avaliados, o que indica que as variações ambientais estavam uniformemente distribuídas. Dessa forma, não se fez necessário corrigir os dados relativos às populações, para se compará-las. Ainda na Tabela 1, sob a fonte de variação Testemunhas, pode-se observar que houve diferença significativa entre as variedades testemunhas, quanto aos caracteres avaliados, o que indica a existência de variabilidade entre as mesmas.

A precisão do experimento, avaliada por meio dos coeficientes de variação experimental, mostrou-se em níveis: bom a médio. De acordo com PIMENTEL GOMES (1984), em experimentação agrônômica, valores menores que 10% indicam experimento de alta precisão; entre 10 e 20%, média precisão; entre 20 e 30%, baixa e maior que 30%, precisão muito baixa. Estando os coeficientes de variação em níveis adequados, pressupõe-se, também, confiabilidade dos dados.

Observa-se (Tabela 2) que houve diferença significativa quanto aos dois caracteres, quando a fonte de variação foi material genético (Progenitores + testemunhas + populações). Este resultado indica a variabilidade gerada pelos cruzamentos/ retrocruzamentos.

Tabela 1- Resultados da análise de variância e coeficientes de variação dos caracteres produção de grãos por planta e teor de proteína na semente entre blocos de testemunhas e entre testemunhas

F.V.	gl	Quadrados médios	
		Produção por planta	Teor protéico
Blocos de Testemunhas	19	16,29	1,25
Testemunhas	2	63,72**	33,01**
Erro	38	11,83	1,68
CV(%)		17,74	3,29

** significativo a 1%, pelo teste F.

Tabela 2- Resultados da análise de variância e coeficientes de variação dos caracteres produção de grãos por planta e teor de proteína na semente entre o material genético (P+T+PP)¹ utilizado

F.V.	gl	Quadrados médios	
		Produção por planta	Teor protéico
(P+T+PP)	14	256,01**	128,23**
Erro	201	15,25	3,82
CV(%)		21,43	4,43

¹P= Progenitores recorrentes, T= testemunhas e PP= populações. ** significativo a 1%, pelo teste F.

Entre as populações (Tabela 3), foi verificada variação significativa pelo teste F, quanto aos caracteres em estudo, indicando a importância da utilização de diversas populações, a fim de se verificar a persistência dos resultados obtidos. Ainda, na Tabela 3, com exceção das populações OC13-RC e CD205-CR, as demais apresentaram diferença, pelo teste F ($p < 0,05$), quanto ao teor protéico na semente. Em relação ao caráter produção por planta, houve variação apenas dentro das populações CD206-RC e CD206-CR.

Como pode ser visto na Tabela 4, as populações – tendo, as famílias, passado por seleção visando-se alto teor protéico - apresentaram, como esperado, tendência a conterem teores médios de proteína mais elevados que os de seus progenitores recorrentes e as testemunhas. Esse fato indica a efetividade do trabalho de seleção visando altos teores de proteína. Enquanto as sementes de soja atualmente no mercado têm, em média, 40% de proteína (SEDIYAMA et al., 1999), o teor protéico médio das populações foi 45,06%.

Tabela 3- Resultados da análise de variância e coeficientes de variação dos caracteres produção de grãos por planta e teor de proteína na semente entre e dentro das populações analisadas

F.V.	gl	Quadrados médios		Coeficientes de variação(%)	
		Produção por planta	Teor protéico	Produção por planta	Teor protéico
Entre PP	7	412,28**	29,40**	22,95	4,85
Erro	135	15,00	4,82		
Dentro de:					
OC13-RC	16	8,17	1,96	20,21	3,04
OC13-CR	22	7,68	3,78**	20,39	3,00
CD201-RC	12	20,59	4,50**	18,47	3,10
CD201-CR	20	11,84	4,98**	20,08	3,02
CD205-RC	19	13,28	8,07**	20,40	3,04
CD205-CR	19	13,44	2,36	19,01	3,05
CD206-RC	10	33,17*	3,12*	17,40	3,10
CD206-CR	16	24,31**	9,04**	19,20	3,01

**,* significativo, respectivamente, a 1 e 5%, pelo teste F.

Tabela 4- Médias de progenitores recorrentes, testemunhas e populações, quanto aos caracteres produção de grãos por planta e teor protéico na semente

Material Genético	Produção de grãos		Teor protéico	
	(g/planta)		(%)	
Progenitores	21,43	a	41,85	b
Testemunhas	19,39	a	39,39	b
Populações	17,82	a	45,06	a

* Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Quando se comparam as médias de produção de grãos dos progenitores recorrentes, das testemunhas e das populações (Tabela 4), observa-se que estas últimas apresentaram tendência a menor produção de grãos, apesar de não ter havido diferença significativa, a 5% de probabilidade.

Na Tabela 5, são apresentados a herdabilidade, a média observada, a variabilidade genética, a amplitude, o ganho genético esperado e a média esperada — com base em 20% de intensidade de seleção — quanto à produção de grãos e teor protéico na semente de cada população.

Tabela 5- Médias, variabilidade genotípica (v_g), herdabilidade (H^2), amplitude, ganho genético esperado (ganho de seleção) - com base em intensidade de seleção de 20% - e média esperada das populações analisadas, quanto aos caracteres produção de grãos por planta (PROD) e teor protéico na semente (PROT)*

População	Cará- Ter	médias	v_g	H^2	Amplitude		Ganho de Seleção	Média esperada
OC13-RC	PROD	13,01	0,00	0,0*	8,69	18,61	0,00**	13,01
	PROT	45,70	0,42	21,61	43,63	48,71	0,42	46,47
OC13-CR	PROD	14,01	0,00	0,00	8,21	19,37	0,00	14,01
	PROT	46,08	2,24	59,36	42,24	49,16	1,62	47,85
CD201-RC	PROD	21,47	7,27	35,31	13,49	27,79	2,24	24,66
	PROT	43,03	2,97	65,87	39,11	47,43	1,96	45,07
CD201-CR	PROD	14,68	0,00	0,00	8,31	20,22	0,00	14,68
	PROT	45,66	3,44	69,11	42,15	50,98	2,16	47,85
CD205-RC	PROD	13,61	0,00	0,00	8,70	21,97	0,00	13,61
	PROT	44,81	6,53	80,95	39,03	49,56	3,22	47,83
CD205-CR	PROD	18,61	0,12	0,86	11,06	23,49	0,04	19,01
	PROT	44,39	0,82	34,77	40,54	46,44	0,75	45,46
CD206-RC	PROD	29,58	19,85	59,84	19,70	38,82	4,83	34,85
	PROT	43,50	1,58	50,76	40,61	46,51	1,26	44,99
CD206-CR	PROD	17,63	10,99	45,20	8,93	28,20	3,12	21,55
	PROT	47,26	7,50	83,00	41,59	51,56	3,49	50,50
Médias	PROD	17,83	4,78	17,65	10,89	24,81	1,28	12,51
	PROT	45,05	3,19	58,18	41,11	48,79	1,86	47,00

*Produção em g/planta e Teor protéico em %.

**Herdabilidade estimada igual a zero, em razão da estimativa da variância genética negativa.

A herdabilidade variou de 0 a 59,84% para produção e de 21,61 a 83% para teor protéico, sendo, os valores encontrados, próximos aos apresentados na literatura. BYTH et al. (1969), trabalhando com populações F_6 e F_7 , em três ambientes, obtiveram valores variando de 0 a 78%, para produção e entre 71 e 90% para teor protéico na semente. Estes autores obtiveram menores valores de herdabilidade, quanto à produção, quando as famílias foram conduzidas sob irrigação, que diminuiu o estresse decorrente da falta de água. As baixas estimativas de herdabilidade foram referidas a ambos, redução da variância genética e aumento da variância ambiental. SHANNON et al. (1972) obtiveram valores, de herdabilidade, entre 0 e 73% para produção e entre 81 e 96% para proteína, trabalhando com famílias F_4 , provenientes de cruzamento entre materiais portadores de alto teor protéico e materiais de alta produção de grãos. BRIM e BURTON (1979) encontraram valores entre 20 e 37% para a herdabilidade restrita, relativa ao teor protéico na semente. Os valores

encontrados por estes autores, mais baixos que os rotineiramente encontrados na literatura são, segundo os mesmos, devido a esta ter sido calculada no sentido restrito. SANTOS et al. (1995) encontraram, para produção, herdabilidade restrita de 57,68%. PIOVESAN (2000), trabalhando com progênes F₂, obteve valores entre 17 e 56% para produção e entre 22 e 81% para proteína. Tendo obtido, para outros caracteres, valores nulos de herdabilidade no sentido amplo, o autor explica que este fato foi devido à baixa variabilidade da progênie quanto a este caráter e, ou, à grande influência do ambiente na expressão deste, indicando, também, que a seleção para esses caracteres deve ser ineficiente naquela geração.

Em geral, a amplitude da produção de grãos das famílias, dentro de cada população, foi elevada; não tendo sido, todavia, devido, somente, à variabilidade genética, mas também ao conjunto de características que influenciam a expressão deste caráter, de modo que tal amplitude seja aceitável. Quanto ao teor protéico, a amplitude mostrou-se razoável e semelhante aos valores apresentados na literatura (SHANNON et al., 1972 e REBETZKE et al., 1998); indicando a presença de considerável variabilidade genética dentro das populações; podendo, esta variabilidade, ser confirmada por meio das estimativas de variância genética, herdabilidade e ganho de seleção. Amplitudes menores, quanto a este caráter, foram encontradas por WILCOX (1998), que realizou seleções recorrentes, com intensidade de seleção de 20% dos ciclos C₀ ao C₃ e 10% de seleção, do ciclo C₄ ao C₇. Durante os oito ciclos de seleção recorrente, a média do teor protéico aumentou de 43,8% para 48,4%. Do ciclo C₅ ao C₈, não houve aumento do teor mínimo de proteína encontrado. A possível causa da manutenção destes limites inferiores baixos foi, segundo os autores, ocorrência de polinização ao acaso com plantas de populações de baixo teor protéico.

O ganho de seleção, para produção, variou de 0 a 4,83 g/planta e para teor protéico, de 0,42 a 3,49%. Para os dois caracteres avaliados, os maiores ganhos encontrados são altamente satisfatórios. A população CD206-CR apresentou herdabilidade alta e intermediária, quanto ao teor protéico e à produção de grãos, respectivamente (Tabela 5); todavia, apresentou, da mesma forma que a população CD206-RC, correlação genotípica alta e negativa entre os mesmos (Tabela 6).

Tabela 6- Estimativas dos coeficientes de correlações fenotípicas, genotípicas e ambientais, entre teor protéico na semente e produção de grãos de oito populações de soja

Populações	Correlações		
	Fenotípicas	Genotípicas	Ambientais
OC13-RC	-0,27	-*	-0,1
OC13-CR	-0,29	-	-0,1
CD201-RC	0,35	0,83	-0,1
CD201-CR	-0,41	-	-0,1
CD205-RC	-0,49	-	-0,1
CD205-CR	-0,09	-0,14	-0,1
CD206-RC	-0,21	-0,30	-0,1
CD206-CR	-0,29	-0,42	-0,1

* famílias que apresentaram variância genética negativa, quanto ao caráter produção de grãos.

A população CD201-RC apresentou correlação genética alta e positiva, quanto aos dois caracteres, o que é extremamente favorável à seleção visando-se o melhoramento simultâneo quanto a estes caracteres. As demais populações apresentaram correlações genéticas baixas ou, devido à ausência de variância genética, inexistentes. As correlações fenotípicas foram variáveis, porém, predominantemente negativas. As correlações ambientais foram constantes, devido à utilização das mesmas testemunhas na avaliação do efeito ambiental.

Na Tabela 7, são apresentados os valores críticos para seleção direta de famílias, dentro de cada população, bem como a percentagem e o número de famílias selecionadas em cada uma delas, quanto aos caracteres teor protéico e produção de grãos, individual ou simultaneamente. Quanto ao teor protéico, o critério de seleção utilizado foi 0,84 vez o desvio padrão, somado à média. Valor este que, pressupondo-se distribuição normal padrão, resultaria na seleção de 20% das famílias. Quanto à produção de grãos, selecionaram-se as famílias que obtiveram produção igual ou superior à dos seus respectivos progenitores recorrentes. Os resultados indicam a possibilidade de se selecionar famílias, quanto à produção de grãos, em todas as populações, exceto CD201-CR. A seleção simultânea, quanto a PROT e PROD, foi possível nas populações OC13-RC, CD201-RC, CD205-CR e CD206-RC. Não obstante, a baixa herdabilidade apresentada, principalmente para produção de grãos, indica limitação da transferência dos caracteres fenotípicos apresentados pelos

Tabela 7 – Número de famílias por população(f/p), percentagem e número de famílias selecionadas* dentro de cada população quanto aos caracteres produção de grãos por planta, teor protéico na semente e simultaneamente

Famílias	f/p	Produção de grãos			Teor protéico na semente			Teor protéico e Produção de grãos	
		(g/planta)			(%)			%	Num fam. selec.
		Valores críticos	%	Num fam. selec.	Valores críticos	%	Num fam. selec.		
OC13-RC	17	18,20	11,76	2	46,87	29,41	5	0,00	0
OC13-CR	23	18,20	8,70	2	47,71	17,39	4	4,35	1
CD201-RC	13	22,22	46,15	6	44,81	23,08	3	15,38	2
CD201-CR	21	22,22	0,00	0	47,49	18,18	4	0,00	0
CD205-RC	20	20,52	5,00	1	47,28	15,00	3	0,00	0
CD205-CR	20	20,52	40,00	8	45,68	15,00	3	5,00	1
CD206-RC	11	24,75	81,82	9	44,99	18,18	2	18,18	2
CD206-CR	17	24,75	5,88	1	49,79	23,53	4	0,00	0
Média	17,8	21,42	27,63	4	46,83	19,46	3,43	5,36	0,75

*Seleção direta de 20%, quanto ao teor protéico e média igual ou superior à do progenitor recorrente, quanto à produção de grãos por planta.

genitores às progênies. Neste contexto, as famílias selecionadas na população CD206-RC são as que apresentam maior probabilidade de transmitir à descendência os caracteres fenotípicos apresentados. A população CD206-CR, embora tenha apresentado boas estimativas de parâmetros genéticos quanto aos dois caracteres, isoladamente (Tabela 5); devido à correlação alta e negativa (Tabela 6) entre os mesmos não apresentou famílias que se enquadrassem, simultaneamente, nos dois critérios utilizados para se selecionar materiais de alto teor protéico, sem perdas na produção de grãos (Tabela 7). Devido à alta média do teor protéico desta população, experimentou-se selecionar não apenas 20% (23,53%), mas todas as que apresentassem teor protéico igual ou superior a 48% (35,29% das famílias), mesmo assim, nenhuma linhagem atendeu a esse critério, mantendo, ainda, produção igual à do progenitor recorrente.

CONCLUSÕES

Analisando-se os resultados obtidos, chegou-se às seguintes conclusões: *i)* as médias gerais das populações selecionadas quanto ao caráter teor protéico na semente foram maiores que as dos progenitores recorrentes e das testemunhas; *ii)* houve tendência das médias das linhagens serem menores que as dos progenitores recorrentes e das testemunhas, quanto à produção de grãos; *iii)* a família CD206-CR apresentou herdabilidade alta e intermediária, quanto ao teor protéico na semente e à produção de grãos, respectivamente; todavia, a alta correlação negativa entre esses caracteres, para essa família, impossibilitou a seleção para ambos, simultaneamente; *iv)* a baixa variabilidade genética quanto à produção de grãos e a alta influência do ambiente sobre este caráter, apresentada pela maioria das populações analisadas, fizeram com que a seleção, quanto ao mesmo, fosse de baixa eficiência, nestas populações; e *v)* foi possível a seleção direta, quanto ao teor protéico na semente mantendo, simultaneamente, a média de produtividade de grãos igual à dos progenitores recorrentes, nas populações OC13-CR, CD201-RC, CD205-CR e CD206-RC, mesmo tendo sido encontrada correlação negativa entre estes caracteres, em três dessas populações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC. **Official methods of analysis**. WILLIAMS, S. (Ed.). The William Byrd Press Inc.: Richmond, 14 ed. Virginia, 1984. 1441p.
- BRIM, C.A.; BURTON, J.W. Recurrent selection in soybeans. II. Selection for increased percent protein in seeds. **Crop science**. Madison, v.19, n.4, p.494- 498, 1979.
- BYTH, D.E.; WEBER, C.R.; CALDWELL, B.E. Correlated truncation selection for yield in soybeans. **Crop Science**. Madison, v.9, n.6, p.699 - 702, 1969.
- CRUZ, C.D. **Programa Genes: versão windows, aplicativo computacional em genética e estatística**. Viçosa, MG: UFV, 2001. 648p.:il.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 1997. 390p.
- EBERHART, S.A. Factors effecting efficiencies of breeding methods. **Afri. soils**, v.6. p. 669 – 672, 1970.
- FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Special Report 80. Co-operative Extension Service, Iowa State University, Ames, Iowa, 1977. 11p.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do instituto Adolfo Lutz; métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 3. ed.. São Paulo, 1985. v.1, 533p.
- PIMENTEL GOMES, F. **A estatística moderna na pesquisa agropecuária**. Piracicaba: POTAFOS. 1984. 160p.:il.
- PIOVESAN, N. D. **Aplicação de cruzamentos dialélicos no melhoramento genético do teor protéico em soja**. Viçosa- MG: Universidade Federal de Viçosa, 2000. 91p. (Dissertação Mestrado em Genética e Melhoramento).

- REBETZKE, G.J.; BURTON, J.W.; CARTER JR, T.E.; WILSON, R.F. Changes in agronomic and seed characteristics with selection for reduced palmitic acid content in soybean. **Crop science**. Madison, v.38, n.2, p.297- 302, 1998.
- SANTOS, C.A.F.; REIS, M.S.; SEDIYAMA, C.S.; CRUZ, C.D.; SEDIYAMA, T. Parâmetros genéticos e seleção indireta em progênies F6 de um cruzamento de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Revista ceres**. Viçosa, v.42, n. 240, p. 155- 166. 1995.
- SEDIYAMA, T.; PEREIRA, M. G., SEDIYAMA, C. S.; GOMES, J. L. L. **Cultura da soja**.-partell. Viçosa, 1996. 75p.
- SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R.C.; REIS, M.S.. Melhoramento da soja. In: Borém, A.. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa-MG: Univerdidade Federal de Viçosa, 1999. 817p.:il.
- SHANNON, J.G., WILCOX, J.R.; PROBST, A.H. Estimated gains from selection for protein and yield in the F4 generation of six soybean populations. **Crop science**. Madison, v.12, n.6, p.824- 830, 1972.
- THORNE, J .C.; FEHR. W .R. Incorporation of high-protein, exotic germplasm into soybean populations by 2- and 3-way crosses. **Crop science**. Madison, v.10, n.6, p.652-655, 1970.
- WEHRMANN, V.K, FEHR, W.R., CIANZIO, S.R.; CAVINS, J.F. Transfer of high seed protein to high-yielding soybean cultivars. **Crop science**. Madison, v.27, n.5, p.927-931, 1987.
- WILCOX, J.R. Increasing seed protein in soybean with eight cycles of recurrent selection. **Crop science**. Madison, v.38, n.2, p. 1536-1540, 1998.

ARTIGO 3

ESTIMATIVAS DE CORRELAÇÕES E ANÁLISES DE TRILHA EM OITO POPULAÇÕES DE SOJA SELECIONADAS, VISANDO-SE ALTO TEOR PROTÉICO NA SEMENTE E ALTA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS

RESUMO

Objetivou-se obter informações sobre oito populações de soja, por meio da estimação de correlações fenotípicas e verificar, mediante o uso da análise de trilha, os efeitos diretos e indiretos dos componentes da produção e do teor protéico, na produção de grãos e na produção de proteína por planta. Para tal, utilizaram-se quatro populações RC₁F₄ e quatro F₄, originárias, cada uma, do cruzamento de um material portador de alto teor protéico na semente e uma variedade comercial. Estimaram-se as correlações fenotípicas e os efeitos diretos e indiretos dos componentes primários da produção sobre a mesma e de seus componentes e do teor protéico da semente sobre a produção de proteína por planta. As principais conclusões obtidas foram: *i)* o caráter produção de proteína por planta seguiu as mesmas tendências de produção de grãos por planta; *ii)* a população CD201-RC apresentou correlações positivas de teor protéico com produção de proteína por planta e produção de grãos; *iii)* os três componentes da produção apresentaram efeitos diretos positivos tanto sobre a produção de grãos quanto sobre a produção de proteína por planta; *iv)* o número de vagens por planta foi, entre os componentes da produção de grãos, o que apresentou maiores efeitos diretos sobre a produção de grãos e de proteína, exceto para a população OC13-CR; *v)* o efeito direto do teor de proteína na semente sobre a produção de proteína por planta foi positivo, todavia, baixo; e *vi)* a produção de grãos por planta foi o principal determinante da produção de proteína por planta.

ABSTRACT

ESTIMATES OF CORRELATIONS AND PATHS ANALYSES IN EIGHT SOYBEAN POPULATIONS SELECTED FOR HIGH PROTEIN CONTENT AND HIGH GRAIN YIELD

The objectives of the present work's development was to obtain information about eight soybean populations, through the estimates of phenotypic correlations and to verify, by the use of paths analyses, the direct and indirect effects of the grain yield components and of the protein content on the grain and protein yields. For such, four RC_1F_4 and four F_4 populations were used, originated, each one, from the crossing of a genotype bearing high protein content in the seed, and a commercial variety. The phenotypic correlations and the direct and indirect effects of the grain yield primary components on grain yield and of its components and of the protein content of the seeds on protein yield were estimated. The main conclusions were: *i*) the character protein yield per plant followed the same tendencies of grain yield per plant; *ii*) the population CD201-RC presented positive correlations of protein content with protein and grain yields; *iii*) the three grain yield component characters presented positive direct effects for both grain and protein yields; *iv*) the character number of pods per plant was, among the grain yield components, the one that presented the largest direct effects on the grain and protein yields, except for the population OC13-CR; *v*) the direct effect of the protein content on protein yield was positive, though, small; *vi*) the grain yield per plant was the main factor contributing for protein yield per plant.

INTRODUÇÃO

O trabalho de melhoramento exige contínua avaliação fenotípica do material genético que está sendo gerado pelo programa. Nessa avaliação, diversas variáveis que caracterizam os indivíduos são mensuradas.

Segundo WRIGHT (1921), coube a Bravais, em 1846, o estabelecimento e a definição da relação matemática entre duas variáveis, que foi chamada por GALTON, em 1888, de coeficiente de correlação.

O conhecimento dos coeficientes de correlação é requisito básico quando se objetiva quantificar a magnitude e a direção das influências de determinada característica sobre outra ou quando se pretende melhorar várias características simultaneamente (CRUZ E REGAZZI, 1997). Apesar da grande importância das correlações, a quantificação e a interpretação dos coeficientes podem, contudo, resultar em equívocos na estratégia de seleção, pois alta correlação entre dois caracteres pode ser resultado do efeito indireto de um terceiro ou de um grupo de caracteres (CARVALHO et al., 1999).

O método ideal de fazer ciência é estudando-se a influência direta de uma condição sobre outra, em experimentos nos quais todas as outras possíveis causas de variação são eliminadas. Infelizmente, algumas causas de variação freqüentemente estão fora de controle. Em ciências biológicas, especialmente, é necessário que se lide com problemas que apresentam um grupo de características ou condições, as quais são freqüentemente obscuras. O grau de correlação entre duas variáveis pode ser calculado por métodos bem conhecidos, mas quando é encontrado, ele dá, meramente, o resultado de

todas as interconectadas trilhas que influenciam essa inter-relação (WRIGHT, 1921).

Assim, é importante que os coeficientes de correlação sejam desmembrados em componentes de efeitos diretos e indiretos, o que é feito pela análise de trilha, desenvolvida por WRIGHT (1921). A análise de trilha (ou "path analysis") consiste no estudo dos efeitos diretos e indiretos de caracteres sobre uma variável principal, normalmente a produção, cujas estimativas são obtidas por meio de equações de regressão, em que as variáveis são previamente padronizadas (CRUZ e REGAZZI, 1997).

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo obter informações sobre oito populações de soja, por meio da estimação de correlações fenotípicas entre diferentes caracteres agronômicos e teor protéico na semente de soja e verificar, mediante o uso de análises de trilhas, os efeitos diretos e indiretos desses caracteres e do teor protéico na produção de grãos e na produção de proteína por planta.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa – MG, e constou de duas partes: a primeira, de campo, e a segunda, de laboratório. A primeira parte do experimento foi conduzida no Campo Experimental “Professor Diogo Alves de Melo”, situado a 20° 45’ 20” LS, altitude de 650 m e a segunda, em laboratórios do Departamento de Fitotecnia e do Instituto de Biotecnologia Aplicada à Agropecuária (BIOAGRO).

Foram utilizadas oito populações, conduzidas no Programa de Melhoramento de Soja do BIOAGRO/UFV, em convênio com a Cooperativa Central Agropecuária de Desenvolvimento Tecnológico e Econômico Ltda. (COODETEC). As famílias utilizadas, as quais compunham as populações, encontravam-se na quarta geração de autofecundação após hibridação artificial (F_4) ou na quarta geração de autofecundação após retrocruzamento (RC_1F_4) e são originárias, cada uma, do cruzamento de um material de alto teor protéico - progenitor doador - com uma variedade comercial - progenitor recorrente.

As referidas famílias foram conduzidas até as respectivas gerações, pelo Programa de Melhoramento de Soja do BIOAGRO/ UFV. Como progenitores recorrentes, utilizaram-se variedades comerciais, de propriedade da COODETEC, portadoras de caracteres agrônômicos desejáveis e os doadores foram escolhidos com base em suas capacidades geral e específica de combinação. Na geração F_2 , selecionaram-se, em cada família, pelo método do ácido bicinconínico, 10% (em torno de 30 sementes) das sementes com maior teor protéico. Procedeu-se a análise do teor protéico, pelo método Kjeldahl, das sementes F_3 . As quatro plantas (sementes), geneticamente, mais próximas do

progenitor recorrente e com maior teor protéico dentro de cada família foram, então, selecionadas, abrindo-se, a partir delas, famílias (progênes) que foram, sucessivamente, autofecundadas e colhidas em *bulks*.

Foram plantadas, em 12/01/01, as populações (F4 ou RC1F4) provenientes de retrocruzamento (RC): OC13RC, CD201RC, CD205RC e CD206RC, compostas, respectivamente, por 17, 13, 20 e 11 famílias; as populações originárias de cruzamento (CR): OC13CR, CD201CR, CD205CR e CD206CR, compostas, respectivamente, por 23, 22, 20 e 17 famílias; os respectivos progenitores recorrentes - variedades comerciais Ocepar 13 (OC13-P), Coodetec 201 (CD201-P), Coodetec 205 (CD205-P) e Coodetec 206 (CD206-P), com, respectivamente, 6, 6, 5 e 3 repetições - e três variedades comerciais utilizadas como testemunhas: CAC1 (CAC1-T), Coodetec 203 (CD203-T) e Coodetec 205 (CD205-T), plantadas em 20 blocos. O progenitor doador para as populações (RC e CR) OC13 e CD205 foi o material IAC12PTN, para a população CD201 foi o BR 80 14887 e para a população CD206, o material CAC1PTN. Os teores protéicos médios nas sementes dos três progenitores doadores são, respectivamente, 51,00, 47,80 e 54,20%.

Cada parcela experimental foi constituída de 20 sementes, plantadas em campo, em fileira de 2 metros, espaçadas de 0,5 metro. As sementes foram tratadas com fungicidas Benomyl e Metalaxyl + Mancozeb e também com inoculante turfoso da bactéria *Bradyrhizobium japonicum*. Utilizou-se, ainda, o herbicida pré-emergente Sulfentrazone, na dosagem de 60g p.a. x ha⁻¹. A adubação de plantio foi de 400 kg de 00-30-10 x ha⁻¹. Durante o desenvolvimento da cultura, efetuaram-se os tratos culturais necessários e irrigação complementar, por aspersão convencional.

A colheita foi realizada dez dias depois que 50% das plantas da fileira atingiram o estágio de maturidade R8 da escala de FEHR e CAVINESS (FEHR e CAVINESS, 1977). Foram utilizadas seis plantas mais centrais de cada fileira, sendo determinados os seguintes caracteres agronômicos: *i*) número de vagens por planta; *ii*) número de sementes por planta: após a debulha manual das vagens, de cada planta individualmente, foi contado o número total de sementes por planta; *iii*) número de sementes por vagem: obtido da divisão do número de sementes por planta pelo número de vagens por planta; *iv*)

produção por planta: obtido pela pesagem do total de sementes produzidas em cada planta; e v) peso de cem sementes.

Após a colheita, as sementes foram mantidas em câmara fria, a 10°C e 60% de umidade relativa do ar, até a realização dos testes de laboratório. Ao retirá-las, as mesmas foram mantidas à temperatura ambiente por 48 horas, para que pudessem atingir a umidade de equilíbrio. Só então, foi determinado o peso de cem sementes e foram realizadas as análises de laboratório.

A determinação do teor de proteínas totais das sementes foi realizada segundo o método Kjeldahl modificado (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985). As análises foram feitas com duas repetições e, caso apresentassem diferença, entre si, maior ou igual a um por cento, eram refeitas. Tomaram-se três sementes de cada uma das seis plantas representativas da parcela e formaram-se *bulks* com 18 sementes, formando cada *bulk* uma amostra a ser analisada. O fator utilizado para conversão do teor de nitrogênio em proteína foi 6,25 (AOAC, 1984).

O delineamento utilizado foi famílias com testemunhas intercalares, em que as fileiras de famílias foram plantadas com apenas uma repetição, em razão do reduzido número de sementes disponíveis. Dentro de cada população, as fileiras de famílias constituíram as repetições. As 20 repetições (blocos) de testemunhas dispostas ao longo do experimento, a cada 10 fileiras, possibilitaram a comparação entre os blocos e, assim, a verificação da homogeneidade do ambiente. Os progenitores recorrentes, da mesma forma que as testemunhas, foram dispostos a cada dez fileiras de famílias.

Foi estimada a correlação fenotípica entre os logaritmos dos caracteres e foram realizadas duas análises de trilhas. Na primeira, os coeficientes de correlação fenotípica foram desdobrados em efeitos diretos e indiretos dos componentes primários da produção de grãos - peso de cem sementes, número médio de sementes por vagem e número médio de vagens por planta – conforme ilustrado na Figura 1. Na segunda, os coeficientes de correlação fenotípica foram desdobrados em efeitos diretos e indiretos da percentagem de proteína na semente e dos componentes primários da produção, sobre a produção de proteína por planta, conforme pode ser visto na Figura 2.

A metodologia seguida para a análise dos coeficientes de trilha foi a desenvolvida por WRIGHT (1921) e pormenorizada por LI (1975) e CRUZ e REGAZZI (1997).

Quando a relação entre as variáveis explicativas e a variável básica é, estruturalmente, multiplicativa, CRUZ e REGAZZI (1997) sugerem a transformação dos dados para a escala logarítmica, pois a análise de causa e efeito tem como premissa básica a aditividade ou a linearidade da regressão, causa e efeitos. Dessa forma, todos os dados apresentados são referentes aos logaritmos dos respectivos caracteres.

A estimação das correlações e a análise de trilha foram feitas com o auxílio do Programa GENES (CRUZ, 2001).

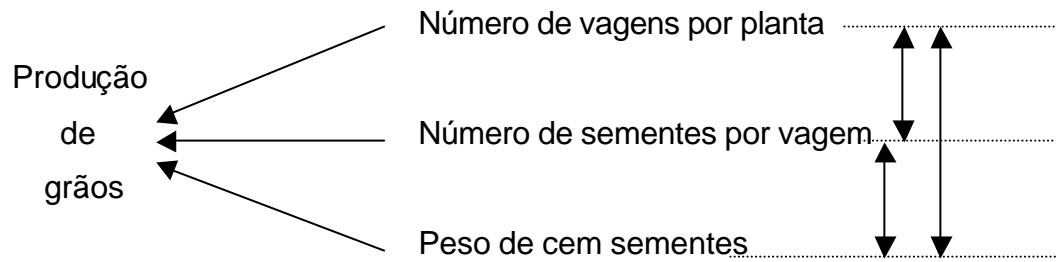


Figura 1 - Diagrama causal indicando o inter-relacionamento dos caracteres explicativos — número de vagens por planta, número de sementes por vagem e peso de cem sementes — sobre o caráter principal, produção de grãos por planta. As setas unidirecionais indicam efeito direto de cada caráter explicativo, sobre o principal, enquanto as setas bidirecionais representam a interdependência de duas variáveis explicativas, cuja magnitude foi quantificada pela correlação fenotípica.

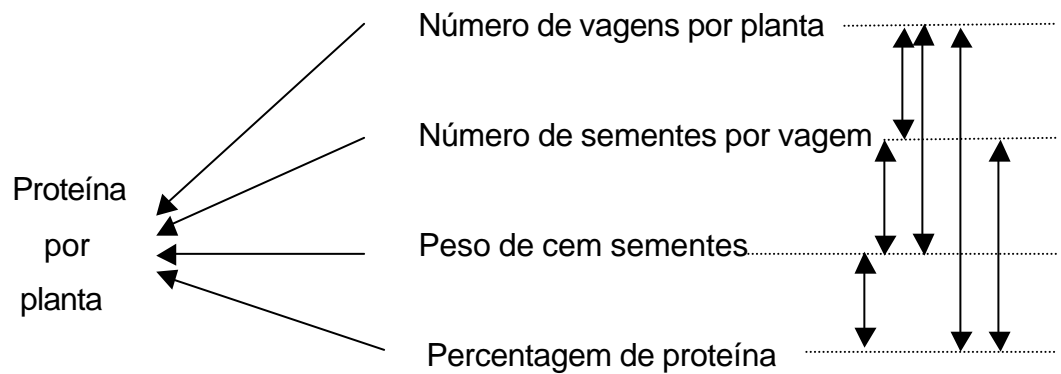


Figura 2 - Diagrama causal indicando o inter-relacionamento dos caracteres explicativos — número de vagens por planta, número de sementes por vagem, peso de cem sementes e porcentagem de proteína na semente — sobre o caráter principal, produção de proteína por planta. As setas unidirecionais indicam efeito direto de cada caráter explicativo, sobre o principal, enquanto as setas bidirecionais representam a interdependência de duas variáveis explicativas, cuja magnitude foi quantificada pela correlação fenotípica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estimativas dos coeficientes de correlação fenotípica, em cada população, são apresentadas na Tabela 1. Os resultados de correlações, tanto os obtidos no presente trabalho, quanto as citações bibliográficas, se referem a coeficientes de correlações fenotípicas.

As estimativas de correlações entre os caracteres componentes da produção de grãos (número de vagens por planta, número de sementes por vagem e peso de cem sementes) foram variadas entre as populações, havendo tendência do número de vagens por planta e do número de sementes por vagem se correlacionarem negativamente com o peso de cem sementes. Resultados semelhantes foram encontrados por ANAND e TORRIE (1963), ALI et al. (1989) e SANTOS, (1994). Concordante com os resultados obtidos por JOHNSON et al. (1955) e ANAND e TORRIE (1963), a correlação entre número de vagens por planta e peso de cem sementes, para as populações CD201-RC e CD206-RC, foi negativa e significativa, indicando forte competição por metabólitos, entre estes caracteres.

As correlações dos três componentes da produção com a produção de grãos foram, quando significativas, positivas. A população OC13-CR

Tabela 1- Coeficientes de correlação fenotípica entre os logaritmos dos caracteres número de vagens por planta, número de sementes por vagem, peso de cem sementes, produção de grãos por planta, produção de proteína por plantas e teor protéico na semente, em oito populações de soja¹

População	Caráter	Número de vagens/planta	Número de sementes/vagem	Peso de cem sementes	Produção de grãos/planta	Produção de proteína/planta	% de proteína na semente
OC13-RC	Num. vagens/planta	1	-0,104	0,343	0,796**	0,802**	-0,144
	Num. sementes/vagem	-0,296	1	0,203	0,367	0,338	-0,279
	Peso de cem sementes	0,334	-0,066	1	0,748**	0,739**	-0,215
	Prod. grãos/ planta	0,538**	0,453*	0,723**	1	0,990**	-0,312
OC13-CR	Proteína/planta	0,499*	0,430	0,748**	0,981**	1	-0,173
	% de proteína	-0,289	-0,213	-0,037	-0,310	-0,112	1
CD201-RC	Num. vagens/planta	1	-0,603*	-0,234	0,864**	0,789**	-0,002
	Num. sementes/vagem	0,297	1	0,302	-0,304	-0,289	-0,064
	Peso de cem sementes	-0,621**	-0,165	1	0,261	0,393	0,731**
CD201-CR	Prod. grãos/ planta	0,937**	0,515*	-0,377	1	0,983**	0,324
	Proteína/planta	0,928**	0,474*	-0,370	0,984**	1	0,497
	% de proteína	-0,384	-0,371	0,196	-0,450**	-0,261	1
CD205-RC	Num. vagens/planta	1	0,453*	-0,156	0,903**	0,813**	-0,661**
	Num. sementes/vagem	0,035	1	-0,111	0,635**	0,623**	-0,277
	Peso de cem sementes	-0,285	0,025	1	0,192	0,331	0,439*
CD205-CR	Prod. grãos/ planta	0,791**	0,347	0,290	1	0,973**	-0,471*
	Proteína/planta	0,740**	0,336	0,352	0,988**	1	-0,246
	% de proteína	-0,327	-0,058	0,387	-0,111	0,054	1
CD206-RC	Num. vagens/planta	1	-0,137	-0,213	0,948**	0,929**	-0,200
	Num. sementes/vagem	0,284	1	-0,391	-0,026	-0,061	-0,128
	Peso de cem sementes	-0,681**	-0,287	1	0,026	0,042	0,083
CD206-CR	Prod. grãos/ planta	0,941**	0,432	-0,447	1	0,982**	-0,214
	Proteína/planta	0,893**	0,433	-0,365	0,976**	1	-0,013
	% de proteína	-0,409	-0,096	0,449	-0,319	-0,095	1

¹RC: acima da diagonal e CR: abaixo da diagonal. **, * significativo a, respectivamente, 1 e 5% de probabilidade, pelo teste t.

apresentou correlação positiva e significativa para qualquer dos três referidos caracteres, com a produção de grãos por planta. Resultados semelhantes foram encontrados por SANTOS et al. (1986), trabalhando com a cultura do feijoeiro. Estes autores encontraram correlações fenotípicas, genotípicas e de ambiente, positivas, entre a produção e cada um de seus componentes, sendo, as correlações entre a produção e o número de vagens por plantas, bastante elevadas.

Em trabalhos com soja, predominou a correlação positiva, nem sempre significativa, de produção de grãos com número de vagens por planta e número de sementes por vagem (JOHNSON et al. (1955); ANAND e TORRIE (1963);

SIMPSON e WILCOX (1983) e SANTOS (1994)). Entre produção de grãos e peso de cem sementes, JOHNSON et al. (1955), ANAND e TORRIE (1963), KNOW e TORRIE (1964), BYTH et al. (1969), SIMPSON e WILCOX (1983), BACKES (2000) e PIOVESAN (2000) encontraram correlação positiva e significativa.

As correlações de produção de grãos com número de vagens por planta e produção de proteína por planta, bem como, entre as duas últimas foram positivas, altas e significativas para todas as oito populações estudadas. Este resultado indica que a seleção indireta quanto à produção de grãos ou produção de proteína por planta, via número de vagens por planta, pode ser uma opção plausível.

O caráter produção de proteína por planta seguiu as mesmas tendências do caráter produção de grãos por planta, devido à menor variação do teor protéico das famílias de cada população em relação à variabilidade da produção de grãos. Resultados similares foram encontrados por SHANNON et al. (1972), que conduziram famílias F_2 de seis populações originárias do cruzamento entre pais com bons caracteres agrônômicos e alta produção ou alto teor de proteína. Avaliaram, na geração F_4 , quais tipos de cruzamentos (alta proteína (P) X alta proteína, alta proteína X alta produção de grãos (G) ou alta produção de grãos X alta produção de grãos) ofereceriam a melhor oportunidade para o aumento de produção de grãos, proteína ou ambos os caracteres. Os autores verificaram que os coeficientes de correlação para proteína por hectare foram similares aos obtidos para produção de grãos, exceto para uma das seis populações. Esta similaridade indicou, segundo os autores, que a produção de grãos foi o principal colaborador para a produção de proteína por hectare. Concluíram que os pais portadores de alto teor protéico, usados no experimento, foram um importante fator contribuindo para produção de linhagens com alta produtividade e alto teor protéico, sendo que, estes pais não apresentaram produção de grãos muito mais baixa que a das variedades comerciais normalmente utilizadas e, devido à seleção prévia, possuíam outros bons caracteres agrônômicos.

A percentagem de proteína na semente apresentou correlação negativa, mas baixa, com a maioria dos caracteres. Apenas com peso de cem sementes predominou correlação positiva, sendo significativa para as

populações CD201-RC e CD205-RC. JOHNSON et al. (1955) e PIOVESAN (2000) encontraram, entre percentagem de proteína e peso de cem sementes, correlações não significativas, positivas ou negativas e SIMPSON e WILCOX (1983) encontraram correlação positiva e significativa, entre esses caracteres.

Apesar da predominância de correlação negativa e não significativa, encontrada na literatura, resultados, o mais divergente possível, têm sido verificados para correlação entre teor protéico na semente e produção de grãos, de modo que, JOHNSON et al. (1955), BYTH et al. (1969) e THORNE e FEHR (1970) encontraram correlações negativas e significativas e SHANNON et al. (1972) e SCOTT e KEPHART (1997) encontraram correlações positivas e significativas, entre esses caracteres. Esta divergência indica que quando se objetiva selecionar, simultaneamente, materiais portadores de alto teor protéico na semente e alta produção de grãos é importante que se utilize populações nas quais a seleção quanto a esses caracteres seja favorecida pela correlação positiva entre eles.

A correlação entre a percentagem de proteína e a produção de proteína por planta foi negativa para a maioria dos casos, porém bastante baixa. Esta correlação negativa indica que, nas populações analisadas, a seleção de plantas, visando-se alto teor protéico na semente deve ser cuidadosa, já que apesar do aumento do teor protéico, pode-se estar prejudicando a produção total de proteína por planta. Não obstante, a população CD201-RC apresentou correlações positivas e relativamente altas, apesar de não significativas, de teor protéico com produção de proteína por planta e produção de grãos, indicando boas chances de se obter ganhos, simultaneamente, quanto aos três caracteres.

Parece que muitos dos caracteres são correlacionados devido a uma associação mútua, positiva ou negativa, com outros caracteres. À medida que mais variáveis são consideradas, em uma tabela de correlações, essas associações indiretas se tornam mais complexas e menos óbvias. Neste contexto, a análise dos coeficientes de trilha se torna um meio de se descobrir as causas diretas e indiretas das associações e permite uma análise crítica de forças específicas agindo para produzir uma dada correlação e medir a importância relativa de cada fator causal (DEWEY e LU, 1959).

Dessa forma, determinaram-se os efeitos diretos e indiretos dos componentes da produção de grãos sobre a mesma e os referidos efeitos dos componentes da produção de grãos e do teor de proteína na semente sobre a produção de proteína por planta.

A análise de trilha e o desdobramento das correlações fenotípicas em efeitos diretos e indiretos dos caracteres explicativos sobre a produção de grãos por planta, com base no diagrama causal apresentado na Figura 1, estão apresentados na Tabela 2.

Os efeitos indiretos do número de vagens por planta sobre a produção de grãos, tanto via número de sementes por vagem quanto via peso de cem sementes, foram baixos. Já os efeitos diretos foram positivos e altos, assim como a correlação entre os mesmos, indicando que este caráter pode ser empregado como caráter auxiliar em programas de melhoramento genético que visam a obtenção de cultivares mais produtivos. Resultados semelhantes foram encontrados por DUARTE e ADAMS (1972) e por FURTADO et al. (2002), trabalhando com a cultura do feijoeiro e por ALI et al. (1989) e por TAWARE et al. (1997), trabalhando com a cultura da soja.

O caráter número de sementes por vagem apresentou, via peso de cem sementes, efeito indireto muito baixo sobre a produção de grãos, indicando a baixa influência que o peso de cem sementes exerce sobre a correlação entre número de sementes por vagens e produção de grãos. Via número de vagens por planta, os efeitos indiretos do número de sementes por vagens sobre a produção foram variáveis entre as populações, tendo sido, este efeito indireto, o principal responsável pela correlação negativa entre número de sementes por vagem e produção de grãos para a população CD201-RC e, para as populações CD201-CR, CD205-RC e CD206-CR, este efeito foi positivo e de maior magnitude que o efeito direto sobre a produção de grãos. Os efeitos diretos foram positivos, porém baixos, exceto para a

Tabela 2- Efeitos diretos (diagonais) e indiretos (fora das diagonais) dos componentes primários da produção de grãos (número de vagens por planta, número de sementes por vagem e peso de cem sementes) sobre a produção de grãos por planta, em oito populações de soja^a

População	Caráter	Efeitos via			Efeito total (r) ^b
		Número de vagens/planta	Núm. de sementes/vagem	Peso de cem sementes	
OC13-RC	Num. vagens/planta	0,679	-0,036	0,153	0,796**
	Num. sementes/vagem	-0,071	0,347	0,090	0,367
	Peso de cem sementes	0,233	0,070	0,445	0,748**
OC13-CR	Num. vagens/planta	0,535	-0,193	0,196	0,538**
	Num. sementes/vagem	-0,159	0,650	-0,039	0,456**
	Peso de cem sementes	0,178	-0,043	0,587	0,723**
CD201-RC	Num. vagens/planta	1,105	-0,136	-0,106	0,864**
	Num. sementes/vagem	-0,666	0,226	0,136	-0,304
	Peso de cem sementes	-0,259	0,068	0,452	0,261
CD201-CR	Num. vagens/planta	1,064	0,075	-0,202	0,937**
	Num. sementes/vagem	0,316	0,253	-0,054	0,515*
	Peso de cem sementes	-0,661	-0,042	0,326	-0,377
CD205-RC	Num. vagens/planta	0,822	0,137	-0,055	0,903**
	Num. sementes/vagem	0,372	0,302	-0,039	0,635**
	Peso de cem sementes	-0,128	-0,034	0,354	0,192
CD205-CR	Num. vagens/planta	0,937	0,010	-0,156	0,791**
	Num. sementes/vagem	0,033	0,301	0,014	0,347
	Peso de cem sementes	-0,267	0,007	0,549	0,290
CD206-RC	Num. vagens/planta	1,058	-0,035	-0,075	0,948**
	Num. sementes/vagem	-0,145	0,256	-0,137	-0,026
	Peso de cem sementes	-0,226	-0,100	0,352	0,026
CD206-CR	Num. vagens/planta	1,151	0,062	-0,272	0,941**
	Num. sementes/vagem	0,327	0,220	-0,115	0,432
	Peso de cem sementes	-0,784	-0,063	0,400	-0,447

^a $R^2 = 1,000$, para todas as populações. ^b correlação. **, * significativo, respectivamente, a 1 e 5%, pelo teste t.

população OC13-CR, para a qual o efeito direto foi positivo e alto. O caráter número de sementes por vagem não pareceu ser um bom índice para a seleção indireta visando-se alta produção de grãos. RAGAGNIN (2001), trabalhando com isolinhas de feijoeiro, encontrou correlações genótípicas e efeitos diretos de número sementes por vagem sobre a produção de grãos, altos e positivos, nos dois ambientes avaliados, atestando, segundo o autor, a eficiência da resposta correlacionada por meio da seleção indireta da produção de grãos, via número de sementes por vagem, na cultura do feijoeiro.

Quanto ao caráter peso de cem sementes, seus efeitos indiretos sobre a produção de grãos, via número de sementes por vagem, foram muito baixos e via número de vagens por planta foram variáveis, mas, predominantemente, negativos. Para as populações CD201-CR e CD206-CR, o efeito indireto alto e negativo do peso de cem sementes, via número de vagens por planta, foi o principal responsável pela correlação negativa entre peso de cem sementes e produção de grãos, indicando um efeito de compensação entre peso de cem sementes e número de vagens por planta, nessas populações. Esse efeito de compensação foi verificado, também, por GRAVOIS e HELMS (1992), trabalhando com a cultura do arroz. Os autores verificaram que, à medida que se aumentava a densidade de plantio, aumentava-se, significativamente, a densidade das panículas, mas o número de grãos cheios por panícula decrescia. BOARD et al. (1999), encontraram pequeno efeito indireto do número de sementes por planta, sobre a produção de grãos, via peso de cem sementes (tamanho), indicando ausência de efeito de compensação entre os caracteres. Os efeitos diretos do peso de cem sementes sobre a produção de grãos foram, para todas as oito populações, positivos, indicando que este caráter pode ser utilizado como auxiliar, para a seleção de materiais de alta produção de grãos. ALI et al. (1989) encontraram efeitos diretos positivos tanto do número de vagens quanto do peso de cem sementes sobre a produção de grãos.

Segundo BOARD et al. (1997), a produção de grãos por área foi altamente correlacionada com número de sementes, tamanho de sementes (peso de cem sementes) e número de vagens. Com base nas correlações, apenas um dos referidos caracteres poderia, sozinho, representar os componentes da produção, já que os três caracteres foram quase igualmente importantes para o aumento da mesma. Entretanto, a análise de trilha revelou que entre esses três, o número de sementes era o mais importante. O efeito direto do tamanho da semente foi desprezível e o do número de vagens influenciou negativamente a produção. O resultado obtido por BOARD et al. (1997) exemplifica, com clareza, a importância da análise de trilha. Todavia, o efeito direto do número de vagens por planta sobre a produção de grãos, encontrado no presente trabalho, ao contrário do resultado obtido por BOARD et al. (1997), foi positivo e alto.

Na Tabela 3, são apresentados os efeitos diretos e indiretos dos componentes primários da produção de grãos (número de vagens por planta, número de sementes por vagem e peso de cem sementes) e da percentagem de proteína na semente, sobre a produção de proteína por planta para as oito populações avaliadas neste trabalho.

Dos efeitos indiretos do número de vagens sobre a produção de proteína, todos foram baixos. Os efeitos diretos foram altos, sendo que, entre os caracteres avaliados, o número de vagens foi o principal determinante da produção de proteína. Este fato é explicado pela alta correlação positiva apresentada entre número de vagens e produção de grãos e, também, pela menor variação do teor protéico, em relação à produção de grãos (dados não apresentados). Assim, sendo a produção de proteína por planta igual ao produto do teor protéico na semente pela produção de grãos; quando se varia pouco o teor protéico e, ao mesmo tempo, em maior magnitude, a produção de grãos (que foi altamente correlacionada com o número de vagens), a expressão do caráter produção (ou número de vagens) passa a ser preponderante na determinação da produção de proteína por planta; e produção de grãos por planta faz-se o principal determinante da produção de proteína por planta.

Os efeitos diretos dos outros dois caracteres componentes da produção (número de sementes por vagem e peso de cem sementes) sobre a produção de proteína foram positivos, para todas as populações – porém menores que os efeitos diretos do número de vagens. Os efeitos indiretos do número sementes por vagem e peso de cem sementes sobre a produção de proteína seguiu as mesmas tendências dos efeitos apresentados para produção de grãos, de modo que os comentários referentes àqueles são, também, válidos para estes. Os efeitos indiretos dos componentes da produção de grãos, via teor de proteína, sobre a produção de proteína por planta foram baixos, implicando que a percentagem de proteína não é, em termos, um fator que, indiretamente, altere a correlação dos componentes da produção de grãos com a produção de proteína por planta.

Tabela 3- Efeitos diretos (diagonais) e indiretos (fora das diagonais) dos componentes primários da produção de grãos (número de vagens por planta, número de sementes por vagem e peso de cem sementes) e da percentagem de proteína na semente sobre a produção de proteína por planta^a

População	Caráter	Efeitos via				Efeito total (r) ^b
		Número de vagens/planta	Núm. de sementes/vagem	Peso de cem sementes	% de proteína na semente	
OC13-RC	Num. vagens/planta	0,701	-0,038	0,156	-0,018	0,802**
	Num. sementes/vagem	-0,073	0,353	0,092	-0,035	0,338
	Peso de cem sementes	0,240	0,072	0,454	-0,03	0,739**
	% de proteína	-0,100	-0,098	-0,098	0,124	-0,173
OC13-CR	Num. vagens/planta	0,559	-0,202	0,205	-0,063	0,499*
	Num. sementes/vagem	-0,166	0,682	-0,041	-0,046	0,430
	Peso de cem sementes	0,186	-0,045	0,614	-0,008	0,748**
	% de proteína	-0,161	-0,145	-0,023	0,218	-0,112
CD201-RC	Num. vagens/planta	1,012	-0,127	-0,097	0,000	0,789**
	Num. sementes/vagem	-0,610	0,210	0,125	-0,014	-0,289
	Peso de cem sementes	-0,237	0,063	0,412	0,154	0,393
	% de proteína	-0,002	-0,013	0,301	0,211	0,497
CD201-CR	Num. vagens/planta	1,140	0,080	-0,212	-0,081	0,928**
	Num. sementes/vagem	0,338	0,270	-0,056	-0,078	0,474*
	Peso de cem sementes	-0,708	-0,044	0,341	0,041	-0,370
	% de proteína	-0,438	-0,100	0,067	0,210	-0,261
CD205-RC	Num. vagens/planta	0,903	0,151	-0,061	-0,180	0,813**
	Num. sementes/vagem	0,409	0,332	-0,043	-0,075	0,623**
	Peso de cem sementes	-0,141	-0,037	0,389	0,120	0,331
	% de proteína	-0,597	-0,092	0,171	0,272	-0,246
CD205-CR	Num. vagens/planta	0,940	0,104	-0,156	-0,054	0,740**
	Num. sementes/vagem	0,033	0,300	0,014	-0,010	0,336
	Peso de cem sementes	-0,268	0,007	0,548	0,064	0,352
	% de proteína	-0,307	-0,0017	0,212	0,166	0,054
CD206-RC	Num. vagens/planta	1,079	-0,034	-0,075	-0,041	0,929**
	Num. sementes/vagem	-0,147	0,251	-0,138	-0,026	-0,061
	Peso de cem sementes	-0,230	-0,098	0,353	0,017	0,042
	% de proteína	-0,215	-0,032	0,029	0,205	-0,013
CD206-CR	Num. vagens/planta	1,207	0,066	-0,285	-0,095	0,893**
	Num. sementes/vagem	0,343	0,232	-0,120	-0,022	0,433
	Peso de cem sementes	-0,822	-0,066	0,419	0,105	-0,365
	% de proteína	-0,494	-0,022	0,188	0,233	-0,095

^a $R^2 = 1,000$, para todas as populações. ^b correlação. **, * significativo, respectivamente, a 1 e 5%, pelo teste t.

O efeito indireto do teor de proteína na semente sobre a produção de proteína por planta, via número de vagens por planta, foi negativo para todas as populações, sendo este efeito, o principal responsável pela baixa correlação

entre teor protéico e produção de proteína por planta, nas populações CD201-CR, CD205-RC, CD205-CR e CD206-CR, sendo, inclusive, de maior magnitude que o efeito direto do teor protéico na semente sobre a produção de proteína por planta, nestas populações. O efeito direto do teor de proteína na semente sobre a produção de proteína por planta foi positivo, todavia, baixo. Este resultado confirma que, nestas populações, entre os caracteres que determinam a produção de proteína por planta - teor protéico e produção de grãos – a produção de grãos foi o principal. Entre os componentes da produção, o carácter que mais contribuiu com a produção de proteína foi o número de vagens por planta, seguido pelo peso de cem sementes.

CONCLUSÕES

Analisando-se os resultados obtidos, chegou-se às seguintes conclusões: *i)* a tendência das correlações dos três componentes da produção com a produção de grãos foi de serem positivas; *ii)* a população OC13-CR apresentou correlação positiva e significativa para qualquer dos três referidos caracteres, com a produção de grãos por planta; *iii)* o caráter produção de proteína por planta seguiu as mesmas tendências de produção de grãos por planta, quanto às correlações com os demais caracteres avaliados; *iv)* a percentagem de proteína apresentou correlação negativa, mas de baixa magnitude, com a maioria dos caracteres, exceto com o peso de cem sementes, que foi positiva; *v)* a correlação entre a percentagem de proteína e a produção de proteína por planta foi baixa e negativa, para a maioria das populações; *vi)* a população CD201-RC apresentou correlações positivas de teor protéico com produção de proteína por planta e produção de grãos; *vii)* os três caracteres componentes da produção apresentaram efeitos diretos positivos, tanto sobre a produção de grãos quanto sobre a produção de proteína por planta; *viii)* o caráter número de vagens por planta foi, entre os componentes da produção de grãos, o que apresentou maiores efeitos diretos sobre a produção de grãos e de proteína, exceto para a população OC13-CR, na qual foi alto, mas não o maior; *ix)* O efeito indireto alto e negativo do peso

de cem sementes, via número de vagens por planta, para as populações CD201-CR e CD206-CR, foi o principal responsável pela correlação negativa de peso de cem sementes com produção de grãos e de proteína, nessas populações; x) o efeito indireto do número de sementes por vagem, via número de vagens por planta, sobre a produção de grãos e de proteína foi o principal responsável pelas correlações negativas do número de sementes por vagem com produção de grãos e de proteína, para a população CD201-RC e, para as populações CD201-CR, CD205-RC e CD206-CR, este efeito foi positivo e de maior magnitude que o efeito direto sobre a produção de grãos e de proteína; xi) o efeito direto do teor de proteína na semente sobre a produção de proteína por planta foi positivo, todavia, baixo; e xii) a produção de grãos por planta foi o principal determinante da produção de proteína por planta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALI, A.A.A.; FRAJ, B. H.; IBRAHEEN, S.A. Correlation and path-coefficient analysis of yield and certain characters of soybean (*Glycine max.* (L.) Merrill) in Iraq. In: PASCALE, A.J. **IV Conferencia mundial de investigación en soja – actas**. Buenos Aires: S.R.L. p. 975-981, 1989.
- ANAND, S.C.; TORRIE, J.H. Heritability of yield and other traits and interrelationships among traits in F3 and F4 generations of three soybean crosses. **Crop science**, Madison, v.3, n.3, p.508-511, 1963.
- AOAC. **Official methods of analysis**. WILLIAMS, S. (Ed.). The William Byrd Press Inc.: Richmond, 14 ed. Virginia, 1984. 1441p.
- BACKES, R. L. **Estimativas de parâmetros genéticos, correção do efeito ambiental e predição de ganhos por seleção em populações F5 e F6 de soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. 77p. (Dissertação Mestrado em Genética e Melhoramento).
- BOARD, J.E.; KANG, M.S.; HARVILLE, B.G. Path analyses identify indirect selection criteria for yield of late-planted soybean. **Agronomy journal**. Madison, v. 37, n. , p. 879-884. 1997.
- BOARD, J.E.; KANG, M.S.; HARVILLE, B.G. Path analyses of the yield formation process for late-planted soybean. **Agronomy journal**, Madison, v. 91, n.1, p. 128-135. 1999.
- BYTH, D.E.; WEBER, C.R.; CALDWELL, B.E. Correlated truncation selection for yield in soybeans. **Crop science**, Madison, v.9, n.6, p.699 - 702, 1969.
- CARVALHO, C.G.P.; OLIVEIRA, V.R.; CRUZ, C.D.; CASALI,V.W.D. Análise de trilha sob multicolinearidade em pimentão. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 34, n.4, p. 603-613, 1999.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 1997. 390p.

- CRUZ, C.D. Programa Genes: versão windows, aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa, MG: UFV, 2001. 648p.:il.
- DEWEY, D.R.; LU, K.H. A correlation and path-coefficient analysis of components of crested wheatgrass seed production. **Agronomy journal**, Madison, v. 51, n. 9, p. 515–518. 1959.
- DUARTE, R.A.; ADAMS, M.W. A path coefficient analysis of some yield component interrelation in field beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Crop science**, Madison, v. 12, n.5, p. 579-582, 1972.
- FURTADO, M.R.; CRUZ, C.D.; CARDOSO, A.A.; COELHO, A.D.F.; PETERNELLI, L.A. Análise de trilha do rendimento do feijoeiro e seus componentes primários em monocultivo e em consórcio com a cultura do milho. **Ciência rural**, v.23, p.217-220, 2002.
- FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Special Report 80. Co-operative Extension Service, Iowa State University, Ames, Iowa, 1977. 11p.
- GRAVOIS, K.A.; HELMS, R.S. Path analysis of rice yield and yield components as affected by seeding rate. **Agronomy journal**, Madison, v. 84, n. 1 p.1-4, 1992.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do instituto Adolfo Lutz; métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 3. ed.. São Paulo, 1985. v.1, 533p.
- JOHNSON, H.W., ROBINSON, H.F. & COMSTOCK, R.E. Genotypic and phenotypic correlations in soybeans and their implications in selection. **Agronomy journal**, Madison, v.47, n.10, p.477-483, 1955.
- KWON, S.H.; TORRIE, J.H. Heritability of and interrelationships among traits of two soybean populations. **Crop science**, Madison, v.4, n.2, p.196-198, 1964.
- LI, C.C. **Path analysis- a primer**. Boxwood: Pacific Grove, 1975. 346p.
- PIOVESAN, N. D. **Aplicação de cruzamentos dialélicos no melhoramento genético do teor protéico em soja**. Viçosa-MG: Universidade Federal de Viçosa, 2000. 91p. (Dissertação Mestrado em Genética e Melhoramento).
- RAGAGNIN, V. A. **Seleção, caracterização e comportamento de isolinhas de feijoeiro-comum resistentes à ferrugem, antracnose e mancha angular**. Viçosa-MG: Universidade Federal de Viçosa, 2001. 91p. (Dissertação Mestrado em Genética e Melhoramento).
- SANTOS, P.C.; CARDOSO, A.A.; VIEIRA, C.; SILVA, J.C. Herdabilidade e correlações do rendimento com seus componentes, em dois cruzamentos de feijão. **Revista ceres**, Viçosa, v.33, n.189, p. 404-412, 1986.

- SANTOS, C. A. F. **Análise de trilha e estimativas de parâmetros genéticos em progênies F6 de um cruzamento de soja (*Glycine max.* (L.) Merrill).** Viçosa-MG: Universidade Federal de Viçosa, 1994. 71p. (Dissertação Mestrado em Genética e Melhoramento).
- SCOTT, R.A.; FEPHART, K.D. Selection for yield, protein, and oil in soybean crosses between adapted and introduced parents. **Field crops research**, Amsterdam, v.49, n.2, 3, p.177-185, 1997.
- SHANNON, J.G., WILCOX, J.R.; PROBST, A.H. Estimated gains from selection for protein and yield in the F4 generation of six soybean populations. **Crop science**, Madison, v.12, n.6, p.824- 830, 1972.
- SIMPSON, A.C.; WILCOX, J.R. Genetic and phenotypic associations of agronomic characteristics in four high protein soybean populations. **Crop science**, Madison, v.23, n.6, p. 1077-1081, 1983.
- TAWARE, S.P.; HALVANKAR, G.B.; RAUT, V.M. Variability , correlation and path analysis in some germplasm lines of soybean (*Glycine max*) with high oil content. **Indian journal of agricultural sciences**. New Delhi, v.67, n.10, p. 476-477, 1997.
- THORNE, J .C.; FEHR. W .R. Incorporation of high-protein, exotic germplasm into soybean populations by 2- and 3-way crosses. **Crop science**, Madison, v.10, n.6, p.652-655, 1970.
- WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of agricultural research**, Washington, v. 20, n.7, p 557-585, 1921.

RESUMO E CONCLUSÕES GERAIS

O presente trabalho, inserido no Programa de Melhoramento de Soja do Bioagro/ UFV, objetivou, principalmente, determinar as conseqüências da seleção visando alto teor protéico em sementes de soja sobre a qualidade fisiológica das mesmas e sobre a produção de grãos; mostrar a possibilidade de se selecionar famílias de soja portadoras de alto teor de proteína na semente, sem prejuízos à produção de grãos; obter informações sobre oito populações de soja, por meio da estimação de correlações fenotípicas e verificar, mediante o uso da análise de trilha, os efeitos diretos e indiretos dos componentes da produção e do teor protéico sobre a produção de grãos e produção de proteína por planta. Para tal, utilizaram-se quatro populações RC_1F_4 e quatro F_4 — previamente selecionadas visando-se alto teor protéico na semente e proximidade genética ao progenitor recorrente — originárias, cada uma, do cruzamento de um material portador de alto teor protéico na semente e uma variedade comercial. Realizaram-se análises de variância e estimaram-se as médias, correlações, herdabilidades, ganhos por seleção direta, efeitos diretos e indiretos dos componentes primários da produção sobre a mesma e de seus componentes, e do teor protéico da semente sobre a produção de proteína por planta. Pôde-se concluir que: *i*) houve tendência da seleção para alto teor protéico influenciar negativamente a qualidade fisiológica das sementes, todavia, não parecendo ser este, um fator limitante ao melhoramento visando-se alto teor de proteína em sementes de soja; *ii*) a correlação entre teor de proteína na semente e produção de grãos foi variável, entre as populações analisadas, tendendo, todavia, a ser negativa; *iii*) foi

possível, para a maioria das populações, manter as médias de produção de grãos e qualidade fisiológica das sementes estatisticamente iguais ($p > 0,05$) às de seus respectivos progenitores recorrentes e obter, simultaneamente, teores protéicos mais elevados que os destes progenitores; *iv*) a média geral do teor de proteína nas sementes das populações selecionadas foi maior que a dos progenitores recorrentes e das testemunhas; *v*) a população CD206-CR apresentou famílias com os maiores teores de proteína nas sementes e, embora tenha apresentado herdabilidade alta para esse caráter e intermediária para produção de grãos, a correlação genotípica negativa - presente nessa população - entre esses caracteres impossibilitou a sua seleção simultânea; *vi*) em outras populações foi possível selecionar famílias que apresentassem ganhos de seleção positivos quanto ao teor protéico na semente, mantendo, ao mesmo tempo, a média de produção de grãos pelo menos igual à de seus respectivos progenitores recorrentes; *vii*) o caráter produção de proteína por planta seguiu as mesmas tendências do caráter produção de grãos por planta, quanto às correlações com os demais caracteres; *viii*) a população CD201-RC apresentou correlações positivas de teor protéico com produção de proteína por planta e produção de grãos; *ix*) os três caracteres componentes da produção apresentaram efeitos diretos positivos, tanto sobre a produção de grãos quanto sobre a produção de proteína por planta; *x*) o caráter número de vagens por planta foi, entre os componentes da produção de grãos, o que apresentou maiores efeitos diretos sobre a produção de grãos e de proteína, exceto para a população OC13-CR; *xi*) o efeito direto do teor de proteína na semente sobre a produção de proteína por planta foi positivo, todavia, baixo; e *xii*) a produção de grãos por planta foi o principal determinante da produção de proteína por planta. Os resultados encontrados neste trabalho serão utilizados para dar continuidade à parte do Programa de Melhoramento de Soja do Bioagro/ UFV que visa, prioritariamente, a obtenção de linhagens de soja com alto teor de proteína na semente.