**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Herança da produção de grãos e dos componentes
de produção em soja**

Larissa Pereira de Castro

**Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Agronomia. Área de concentração:
Genética e Melhoramento de Plantas**

**Piracicaba
2008**

Larissa Pereira de Castro
Engenheiro Agrônomo

Herança da produção de grãos e dos componentes de produção em soja

Orientador:
Prof. Dr. **ISAIAS OLÍVIO GERALDI**

**Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em
Agronomia. Área de concentração: Genética e melhoramento de
Plantas**

Piracicaba
2008

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Castro, Larissa Pereira de
Herança da produção de grãos e dos componentes de produção em soja / Larissa
Pereira de Castro. - - Piracicaba, 2008.
44 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008.
Bibliografia.

1. Genética vegetal - Parâmetros 2. Grãos - Produção 3. Melhoramento genético vegeta
4. Variação genética em plantas 5. Soja I. Título

CDD 633.34
C355h

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

Aos meus pais Emilio e Dulce Léa,
irmãos Adriano e Daniele,
minhas sobrinhas Letícia e Maria Fernanda,
avós Jairo (*in memorian*), Esmeralda, José e Teresinha,
e familiares;

com AMOR,

dedico.

Agradecimentos

À Deus, por ter iluminado meu caminho e me abençoado com as graças alcançadas;

Aos meus pais, Emilio e Dulce Léa, pelos exemplos de determinação, humildade, garra, coragem, companheirismo, carinho e força;

Ao Departamento de Genética da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, pelo suporte acadêmico;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa;

Ao professor Prof. Isaias Geraldi, pelos ensinamentos, orientação, apoio, exemplo profissional e amizade;

Aos meus irmãos, Adriano e Daniele, pelo carinho, exemplo e incentivo;

Aos amigos e colegas da ESALQ, Cecília, Guilherme, Flávia, Colombari, Marco Antônio, Rosa Maria, e todos os outros que participaram dessa corrida para garantir que tudo fosse feito a tempo e com dedicação;

Aos funcionários do laboratório de genética quantitativa de soja, Gustavo Alexandre Perina e Fernandes de Araújo, que auxiliaram na condução dos trabalhos experimentais;

Aos funcionários do Departamento de Genética, pelo apoio, incentivo e amizade;

Aos amigos de Piracicaba, que foram muito receptivos e me acolheram muito bem durante esse período, pelo carinho, apoio, amizade e os bons momentos juntos;

Ao Cesar, pelo apoio, amizade, companheirismo, carinho e incentivo;

A todos que, direta ou indiretamente, colaboraram na realização e conclusão deste trabalho.

Epígrafe

O Cântico da Terra

“Eu sou a terra, eu sou a vida.
Do meu barro primeiro veio o homem.
De mim veio a mulher e veio o amor.
Veio a árvore, veio a fonte.
Vem o fruto e vem a flor.

Eu sou a fonte original de toda vida.
Sou o chão que se prende à tua casa.
Sou a telha da cobertura de teu lar.
A mina constante de teu poço.
Sou a espiga generosa de teu gado
e certeza tranqüila ao teu esforço.
Sou a razão de tua vida.
De mim vieste pela mão do Criador,
e a mim tu voltarás no fim da lida.
Só em mim acharás descanso e Paz.

Eu sou a grande Mãe Universal.
Tua filha, tua noiva e desposada.
A mulher e o ventre que fecundas.
Sou a gleba, a gestação, eu sou o amor.

A ti, ó lavrador, tudo quanto é meu.
Teu arado, tua foice, teu machado.
O berço pequenino de teu filho.
O algodão de tua veste
e o pão de tua casa.

E um dia bem distante
a mim tu voltarás.
E no canteiro materno de meu seio
tranqüilo dormirás.

Plantemos a roça.
Lavremos a gleba.
Cuidemos do ninho,
do gado e da tulha.
Fartura teremos
e donos de sítio
felizes seremos”.

Cora Coralina

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
LISTA DE TABELAS	9
1 INTRODUÇÃO	11
2 DESENVOLVIMENTO	13
2.1 Revisão Bibliográfica.....	13
2.2 Material e Métodos.....	20
2.2.1 Material.....	20
2.2.2 Características do Ambiente Experimental.....	22
2.2.3 Instalação dos Experimentos de Avaliação	22
2.2.4 Avaliações	23
2.2.5 Análises estatístico-genéticas	24
2.3 Resultados e Discussão	30
2.3.1 Componentes de médias.....	30
2.3.2 Componentes de variância.....	38
3 CONCLUSÕES	42
REFERÊNCIAS.....	43

RESUMO

Herança da produção de grãos e dos componentes de produção em soja

O conhecimento da herança dos caracteres de interesse é essencial para programas de melhoramento genético. Entretanto, a herança é altamente influenciada pelo ambiente e pela constituição genotípica da população e, assim, o acúmulo de informações é de grande importância para um melhor conhecimento das heranças dos caracteres. A maior parte dos estudos de herança de caracteres quantitativos é baseada em genótipos que não são mais usados em programas de melhoramento. Este trabalho teve como objetivo o estudo da herança da produção de grãos (PG) e dos componentes de produção em soja, isto é, número de vagens por planta (VP), número de sementes por planta (SP) e número de sementes por vagem (SV), em uma população derivada do cruzamento entre os cultivares Embrapa 60 e MG/BR 46, de alta divergência genética. Os genitores e as gerações F_1 , F_2 e os dois retrocruzamentos foram avaliados experimentalmente no ano agrícola de 2007/8 para os quatro caracteres no Departamento de Genética da ESALQ, em Piracicaba, SP. Os dados experimentais foram submetidos às análises genéticas segundo o modelo aditivo-dominante, proposto por Mather e Jinks. As estimativas da heterose foram positivas para três dos caracteres (PG, VP e SP), e em torno de 50%, em relação à média dos genitores, enquanto que para SV a heterose foi nula. A herdabilidade entre plantas foi mediana para os componentes da produção (entre 33% e 42%) e baixa para PG (16%). As estimativas das variâncias aditivas foram sempre superiores às da variância dominante, de forma que os graus médios de dominância para todos os caracteres foram em torno de 1,0 (0,96 a 1,21), indicando a ocorrência de dominância completa para os caracteres avaliados.

Palavras-chave: soja; heterose; grau médio de dominância; herdabilidade

ABSTRACT

Inheritance of grain production and yield components in soybean

The knowledge of inheritance of traits is very important for breeding purposes. However, the inheritance is highly influenced by the environment and the genotypic composition of the population and thus, the accumulative information of estimates is very important for a better knowledge of the inheritance of quantitative traits. Most of the studies of inheritance of quantitative traits in soybeans are based on populations which nowadays have no more interest in soybean breeding programs. The objective of this study was to investigate the inheritance of grain yield (PG) and yield components in soybeans, i.e., number of pods per plant (VP), number of seeds per plant (SP), and number of seeds per pod (SV), in a population derived from two genetically divergent soybean cultivars: Embrapa 60 and MG/BR 46. The parents, F_1 , F_2 and two backcross generations were evaluated in the 2007/8 growing season for the four traits, at the Department of Genetics (ESALQ), in Piracicaba, SP. Experimental data were submitted to genetic analyses according to the additive-dominant model proposed by Mather and Jinks. Heterosis estimates were positive for three out of four traits (PG, VP, SP), with magnitudes around 50%, based on the parent means, while for SV heterosis was null. The heritability estimates on a plant basis were medium for yield components (between 33% and 42%) and low for PG (16%). Additive variance estimates were always higher than the dominance estimates, and the degree of dominance (gmd) for all the traits were around 1.0 (0.96 to 1.21), indicating the occurrence of complete dominance for the traits assessed.

Keywords: soybeans; heterosis; degree of dominance; heritability

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Conjunto de materiais utilizados, incluindo genitores e as gerações derivadas (F_1 , F_2 e os retrocruzamentos).....	22
Tabela 2 – Esquema da análise de variância com as estimativas dos componentes de variância dentro de cada geração.....	28
Tabela 3 – Número de plantas avaliadas por população, estimativas de variâncias fenotípicas (vagens/planta) ² , estimativas de médias observadas e esperadas de cada população em vagens/planta, e teste de escala conjunto (X^2) para o caráter número de vagens por planta (VP).....	31
Tabela 4 – Número de plantas avaliadas por população, estimativas de variâncias fenotípicas (sementes/planta) ² , estimativas de médias observadas e esperadas de cada população em sementes/planta, e teste de escala conjunto (X^2) para o caráter número de sementes por planta (SP).....	32
Tabela 5 – Número de plantas avaliadas por população, estimativas de variâncias fenotípicas (sementes/vagem) ² , estimativas de médias observadas e esperadas de cada população em sementes/vagem, e teste de escala conjunto (X^2) para o caráter número de sementes por vagem (SV).....	32
Tabela 6 – Número de plantas avaliadas por população, estimativas de variâncias fenotípicas (gramas/planta) ² , estimativas de médias observadas e esperadas de cada população em gramas/planta, e teste de escala conjunto (X^2) para o caráter produção de grãos (PG)	33
Tabela 7 – Componentes de médias estimados para os caracteres número de vagens por planta (VP), número de sementes por planta (SP), número de sementes por vagem (SV) e produção de grãos (PG); contendo as estimativas da média, efeito aditivo e efeito de dominância e respectivos desvios padrão	34

- Tabela 8 – Estimativas de heterose absoluta e em percentagem para os caracteres número de vagens por planta (VP), número de sementes por planta (SP), número de sementes por vagem (SV) e produção de grãos (PG)..... 36
- Tabela 9 – Estimativas dos componentes da variância fenotípica entre plantas: variância aditiva, variância dominante, variância ambiental e estimativas do grau médio de dominância e herdabilidade entre plantas para os caracteres número de vagens por planta (VP), número de sementes por planta (SP), número de sementes por vagem (SV) e produção de grãos (PG)..... 38

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é, atualmente, uma das maiores potências mundiais na produção de alimentos e tem grande potencial de crescimento. Grande parte dos ganhos já obtidos pelo país com a agricultura se deve à cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), que é hoje a principal *comodity* agrícola, com expressiva participação no produto interno bruto (PIB) brasileiro.

O mérito dessas conquistas está relacionado às pesquisas desenvolvidas no país, à tecnificação dos agricultores e à expansão da fronteira agrícola. Na pesquisa, o fator que causou maior impacto foi o melhoramento genético de soja, com o desenvolvimento de cultivares para as mais diversas regiões brasileiras, com destaque para a região Central. Além de terem selecionado cultivares de soja adaptadas a essa região, os melhoristas obtiveram ganhos expressivos relacionados à produtividade e outros caracteres de interesse.

Entretanto, o desafio continua e muito deve ser feito para satisfazer os anseios da cadeia produtiva e do mercado consumidor. Dessa forma, os desígnios dos melhoristas devem progredir de acordo com as necessidades dinâmicas do mercado consumidor, produtores e indústrias de transformação.

Os principais caracteres agronômicos de interesse em programas de melhoramento genético são de herança complexa, como é o caso da produção de grãos. Esses caracteres possuem distribuição contínua, são altamente influenciados pelo ambiente e, geralmente, são controlados por um grande número de locos.

Durante a condução das populações segregantes, as estimativas de variabilidade genética e da herdabilidade, dos caracteres importantes para o programa de melhoramento, devem ser monitoradas para que o processo de seleção seja bem sucedido. A magnitude do coeficiente de herdabilidade é intimamente relacionada com a resposta à seleção.

Assim, estudo da herança dos caracteres de interesse é de grande importância para a tomada de decisão quanto ao melhor método de melhoramento a ser empregado. Entretanto, a herança é altamente influenciada pela composição genética dos materiais utilizados e pelo ambiente. Dessa forma, o acúmulo de informações

acerca desse tipo de estudo é primordial para que a condução de um programa de melhoramento seja definida com base em dados seguros.

Apesar da grande importância da cultura da soja, as informações sobre herança de caracteres quantitativos são escassas. Dessa forma, estudos envolvendo esse tipo de pesquisa são primordiais para agregar informações a respeito de espécies cultivadas e amplamente estudadas.

O objetivo deste trabalho foi estudar a herança da produção de grãos e dos componentes de produção, isto é, número de vagens, número de sementes por planta e número de sementes por vagem.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão Bibliográfica

O melhoramento genético envolve o trabalho de aprimorar uma espécie específica sob uma série de aspectos que são importantes do ponto de vista de manejo, de custos, de qualidade e demais aspectos que são de interesse da cadeia produtiva e dos consumidores. O melhoramento genético de plantas não é diferente; portanto o melhorista trabalha com uma série de caracteres simultaneamente como a arquitetura da planta, produção de grãos, tolerância a doenças e insetos, qualidade de grãos, rendimento na indústria, teor de óleo e muitos outros, para satisfazer as necessidades do mercado.

Para liberar uma nova cultivar no mercado com sucesso, o melhorista deve buscar a otimização dos caracteres mais importantes para que ela seja superior às cultivares já comercializadas. Entretanto, muitos dos caracteres a serem melhorados podem estar correlacionados, assim o melhoramento de uma característica pode causar modificações em outras.

De acordo com Falconer (1981), a correlação genética entre caracteres se deve, principalmente, ao pleiotropismo, mas pode ocorrer em função de ligações gênicas, que possuem um efeito apenas temporário. O autor afirma que o pleiotropismo é uma propriedade comum em que um gene pode afetar mais de um caráter simultaneamente. Esses caracteres codificados por um gene em comum podem possuir uma correlação positiva, em que o aumento de um ocasiona o mesmo efeito no outro, ou uma correlação negativa, em que o aumento de um ocasiona a redução no outro caráter.

Caracteres de alta herdabilidade permitem maior sucesso na seleção, de forma que a chance de obter progênie melhores com os indivíduos selecionados é grande. Por isso os melhoristas fazem, muitas vezes, uso da seleção indireta para obterem maiores ganhos com caracteres de baixa herdabilidade, selecionando caracteres correlacionados que possuem maiores valores de herdabilidade.

Em função disso, os componentes de produção são de grande importância para o melhoramento de plantas, pois eles podem ser utilizados na seleção indireta para que

se tenha um maior ganho com a seleção (REIS et al., 2002). Alguns dos componentes de produção em soja são: número de vagens por planta, número de sementes e número de sementes por vagem.

Existem vários estudos quanto à correlação dos componentes de produção e o uso dos mesmos no melhoramento de plantas. Muitos deles demonstram correlação alta ou intermediária entre os componentes de produção e a produção de grãos (BRAVO; FEHR; CIANZIO, 1980; PANDINI; VELLO; LOPES, 2002).

Adicionalmente, vale ressaltar que os caracteres que possuem maior interesse para programas de melhoramento são os do tipo quantitativos, fortemente influenciados pelos efeitos ambientais. Assim, ao contrário do que se espera de caracteres qualitativos, os quantitativos necessitam de um acúmulo de informações para a obtenção de dados seguros para serem utilizados no melhoramento genético.

Um dos trabalhos pioneiros no estudo de herança de caracteres quantitativos em soja foi realizado por Johnson, Robinson e Comstock (1955) em duas populações de soja que foram estudadas nas suas gerações F_4 e F_5 . O propósito desse trabalho, ao avaliar caracteres que não possuíam interesse econômico, era verificar a possibilidade de utilizá-los na seleção indireta, caso possuíssem herdabilidade alta. Nesse trabalho, os autores observaram valores de herdabilidade para produção de grãos de 25,2% e 39,5%; para número de sementes por planta de 18,6% e 54,9% e para número de sementes por vagem de 59,6% e 59,4%, para as populações 1 e 2, respectivamente. Assim, os caracteres de menor importância econômica apresentaram maiores valores de herdabilidade que o caráter produção de grãos, de forma que os caracteres secundários correlacionados, com maior herdabilidade, poderiam ser utilizados na seleção indireta.

Brim e Cockerham (1961) avaliaram a herança de caracteres quantitativos de duas populações derivadas de cruzamentos entre linhas homozigóticas. Os experimentos foram feitos em dois locais e em dois anos, por meio do estudo de seis gerações (genitores, F_1 , F_2 , F_3 , F_4 e F_5). Para o caráter produção de grãos, foi verificado que a média da geração F_1 foi igual ou superior a do genitor superior nas duas populações estudadas. Nas gerações seguintes, observou-se uma tendência de redução da média no sentido do genitor mediano; entretanto, a heterose e a depressão

por endogamia não foram muito altas. Os autores verificaram que a variância aditiva foi o principal componente da variância genética e houve pequena evidência de variância dominante nos caracteres estudados. Os autores concluem que a predominância desse tipo de variância é de grande valor para a espécie, pois as médias ao longo das gerações permanecem praticamente inalteradas, possibilitando maior ganho com a seleção e a utilização da seleção precoce.

Anand e Torrie (1963) avaliaram a herdabilidade e o ganho esperado com a seleção de três cruzamentos nas gerações F_3 e F_4 para nove caracteres em soja, assim como a correlação entre eles e com a produtividade. Em duas das populações estudadas, a variância genética foi nula para os caracteres número de vagens por planta e número de sementes por vagem. As estimativas de herdabilidade para produção de grãos foram relativamente baixas, bem como para o número de vagens por planta e número de sementes por vagem, em uma população. Foi observado, por meio das correlações múltiplas e parciais, que o número de vagens por planta e o número de sementes por planta foram mais fortemente correlacionados à produção de grãos que o peso de grãos. A correlação fenotípica entre os caracteres número de vagens por planta e número de sementes por vagem foi, relativamente, alta e negativa (-0,57 a -0,89). Para o caráter peso de sementes foi observada uma correlação negativa tanto com o caráter número de vagens por planta (-0,11 a -0,43) e número de sementes por vagem (-0,06 a -0,28). Os autores ressaltam que os componentes de produção se ajustaram de acordo com as condições ambientais durante o ciclo reprodutivo, afetando a magnitude dos coeficientes de correlação, que chegaram a ter uma variação de até 7 vezes de um ano para o outro. Dessa forma, eles possuem certa relação com o potencial produtivo em soja, mas a utilização dos mesmos na seleção indireta pode ser limitada pela influência ambiental.

Estimativas de componentes de variância genética, herdabilidade e ganho genético foram obtidos para dois caracteres nas gerações F_3 e F_4 de soja, em um estudo realizado por Camacho (1971). Foi observada predominância da variância devida à dominância em relação à variância aditiva para ambos os caracteres analisados. As estimativas de herdabilidade para os caracteres período reprodutivo e altura da planta foram de 50,1% e 40,6%, respectivamente. O autor afirmou que, apesar

de ter obtido estimativas de herdabilidade relativamente baixas, a seleção mostrou que a variância genética aditiva foi suficiente para proporcionar um progresso com seleção satisfatório.

Avaliando híbridos obtidos por meio do cruzamento entre oito diferentes cultivares de soja, Campos (1979) avaliou a heterose e correlações fenotípicas para dezesseis características agronômicas. Dentre esses cruzamentos, dois foram conduzidos até a geração F_2 para estimar a herdabilidade e correlações fenotípicas de quatorze caracteres agronômicos em plantas individuais. Os híbridos apresentaram graus de heterose diferentes; resultados estes explicados por graus diferentes de divergência genética entre os genitores. Dos dezesseis caracteres estudados, a produção de grãos foi o caráter que apresentou o maior grau de heterose positiva. Esse caráter apresentou correlações positivas com os seus componentes de produção. Os caracteres que apresentaram as maiores estimativas de herdabilidade foram o número de nós por planta e a altura da planta.

Alguns caracteres quantitativos foram avaliados nas gerações F_2 e F_3 , seguindo o Delineamento II de Comstock e Robinson, em um trabalho feito por Cecon (1983). Os caracteres avaliados pelo autor foram: dias para maturação, altura da planta, número de nós por planta, número de vagens por planta e número de sementes por planta. Nessas gerações, a variância genética aditiva foi predominante em relação à variância de dominância para os caracteres altura da planta, dias para maturação e número de nós por planta. O mesmo não ocorreu para os caracteres número de vagens por planta e número de sementes por planta na geração F_2 . Em alguns dos cruzamentos avaliados, as médias das gerações F_3 foram superiores às dos genitores para os caracteres dias para maturação, número de vagens por planta e número de sementes por planta. As estimativas de herdabilidade obtidas para os caracteres número de sementes por planta e número de nós por planta foram consideradas baixas. A maior parte das estimativas de herdabilidade para o caráter número de vagens por planta foram inferiores a 50%. Os maiores valores de estimativas de herdabilidade foram observados para o caráter altura da planta e dias para maturação.

Arias (1986) fez um estudo com vários caracteres de interesse, analisando as gerações F_1 , F_2 , F_3 e F_4 de seis cruzamentos obtidos a partir de cinco cultivares de soja. As estimativas de herdabilidades e os parâmetros gênicos foram obtidos por meio do teste de escala conjunto. O autor verificou que o caráter número de vagens por planta apresentou as maiores estimativas de herdabilidade. Já para o caráter número de sementes por vagem foram observadas estimativas de herdabilidade baixas e médias. A análise dos componentes de médias indicou a ocorrência de componentes de dominância positivos, na maior parte dos cruzamentos, para os caracteres número de vagens por planta e número de sementes por vagem.

A herança de caracteres agrônômicos foi avaliada em progênies F_2 de cruzamentos dialélicos e seus respectivos genitores em um estudo realizado por Freire Filho e Vello (1989). A maioria dos caracteres avaliados nesse trabalho apresentou efeitos de aditividade, conforme a análise realizada pelos autores. As estimativas de herdabilidade nos sentidos restrito e amplo, para o caráter produtividade de planta individual, foram respectivamente de: 32% e 81%. Por meio de estudos de correlação, os autores observaram que a presença de genes recessivos apresentava uma tendência de aumento da expressão da maior parte dos caracteres avaliados.

Kamikoga (1989) realizou um estudo de herança do acamamento e da associação desse caráter com outros caracteres em soja, por meio de quatro cruzamentos biparentais. Dentre os genitores, quatro apresentavam resistência ao acamamento e um, susceptibilidade. Foram avaliadas as gerações F_2 e F_3 em plantas individuais, quanto aos seguintes caracteres: nota de acamamento, ângulo de acamamento, altura da planta, número de internódios e produtividade. Apenas o caráter altura da planta apresentou coeficientes de herdabilidade, no sentido amplo, elevados (80% a 89%), ao passo que os demais caracteres apresentaram valores considerados medianos (44% a 58%). As estimativas de herdabilidade no sentido restrito apresentaram valores baixos em todos os caracteres e cruzamentos (5% a 26%). As estimativas do grau médio de dominância mostraram que a maior parte dos caracteres apresentou sobredominância, em concordância com a predominância da variância dominante em relação à variância aditiva. Na avaliação da geração F_2 foram encontrados valores positivos de correlação para dois pares de caracteres: nota de

acamamento e altura da planta; e altura da planta e número de internódios. Valores negativos de correlação foram encontrados para os seguintes pares de caracteres: nota de acamamento e ângulo de acamamento; e ângulo de acamamento e altura da planta.

As gerações F_1 e F_2 de quatro diferentes cruzamentos foram estudadas por Moro (1990), visando avaliar características de interesse para a cultura da soja. As avaliações realizadas incluíram estudos de herança, herdabilidade, correlações e heterose em plantas individuais para diversos caracteres agronômicos utilizando duas formas diferentes de plantio. Uma delas denominada de plantio convencional, com semeadura diretamente no campo experimental, e o plantio de mudas, em que as sementes foram plantadas em copos e posteriormente transplantadas para o campo. Os dois tipos de plantio foram conduzidos da mesma forma e o espaçamento e dimensões das parcelas foram os mesmos. O autor observou que as maiores estimativas de herdabilidade foram obtidas para os caracteres dias para florescimento (63,91% a 89,74%) e dias para frutificação (25,86% a 88,10%) e que o caráter dias para florescimento apresentou ausência de dominância na maioria dos cruzamentos. Já o caráter produção de grãos por planta apresentou alta influência ambiental e estimativas negativas de herdabilidade na maioria dos cruzamentos. Os caracteres altura de planta, número de nós e comprimento de entrenós apresentaram maiores valores de herdabilidade no plantio convencional que no plantio por mudas, com variação média de 9%. A magnitude das correlações variou de acordo com o cruzamento e com a forma de plantio; portanto, não houve um resultado generalizado. O autor também concluiu que o plantio de mudas foi eficiente para obter uma boa densidade de plantas no campo e ressaltou a viabilidade desse procedimento aliada a determinados critérios na condução do mesmo.

Estimativas de parâmetros genéticos foram obtidas por Mauro et al. (1995) em quatro tipos de parcelas experimentais: parcelas convencionais (quatro linhas); parcelas na forma de linhas únicas; parcelas na forma de covas; e parcelas constituídas por uma mistura intergenotípica. As parcelas convencionais foram constituídas por quatro fileiras de cinco metros de comprimento, as avaliações foram feitas apenas nas linhas centrais e foram desconsiderados cinquenta centímetros da extremidade de cada linha. As parcelas em linha foram constituídas por uma única linha de cinco metros de

comprimento e foram utilizados apenas quatro metros centrais de cada linha para a avaliação. As parcelas em covas foram instaladas com espaçamento de vinte centímetros entre covas e com uma planta por cova; das doze covas que constituíam a parcela, foram avaliadas apenas as dez centrais. A mistura intergenotípica foi formada por uma mistura de igual quantidade de sementes de todos os genótipos utilizados no trabalho; no momento do florescimento foram identificadas quarenta plantas de cada genótipo. Para o caráter número de vagens por planta as estimativas de herdabilidade variaram de 10% a 33%; para o caráter número de sementes por planta variaram de 16% a 70%; e para o caráter produção de grãos, de 2% a 81%. Os autores verificaram que, nas parcelas convencionais e nas parcelas em linhas, os valores do coeficiente de herdabilidade foram semelhantes aos obtidos em outros estudos. Dessa forma, foi concluído que as parcelas convencionais podem ser substituídas pelas parcelas de linha única nos programas de melhoramento de soja, informação esta importante, pois em etapas iniciais dos programas têm-se muitos genótipos para serem avaliados.

Em outro trabalho, Toledo et al. (2000) avaliaram dados referentes a quatro linhagens e suas gerações descendentes (F_2 , F_3 , F_7 , F_8 , F_9 e F_{10}), em ensaios realizados em 17 ambientes, para a produção de grãos em soja. Os genitores foram escolhidos de acordo com a resposta ao fotoperíodo e foram realizados cruzamentos entre eles nas diferentes formas possíveis, incluindo os recíprocos. Os ambientes avaliados foram escolhidos para representarem circunstâncias de fotoperíodo distintas. O objetivo dos autores foi avaliar as respostas dos genótipos às diversas situações de fotoperíodo utilizadas nos experimentos. Os autores observaram maior interação dos genótipos com as datas de plantio utilizadas que com os anos de plantio, o que aconteceu em função da alta sensibilidade da soja ao fotoperíodo. De acordo com a análise dos componentes de médias, foram detectados os efeitos aditivos, dominantes e espistáticos. Entretanto, nas análises de componentes de variância, as variâncias aditivas e ambientais predominaram, mas também foram detectadas variâncias dominantes. Ficou evidente a predominância dos efeitos gênicos aditivos tanto no modelo de componentes de médias quanto no de variância.

Reis et al. (2002) avaliaram três populações diferentes, as quais foram conduzidas até a geração F_4 pelo método de *bulk* e então avaliadas na geração F_5 .

Nesse estudo foram avaliados os seguintes caracteres: número de dias para florescimento (NDF), altura da planta no florescimento (APF), número de nós no florescimento (NNF), número de dias para maturação (NDM), altura da planta na maturação (APM), número de nós na maturação (NNM), número de vagens por planta (NVP), número de sementes por planta (NSP), número médio de sementes por vagem (NSV), produção de grãos (PRO) e peso médio de uma semente (P1S). Para os componentes secundários da produção de grãos avaliados nesse estudo (NDF, APF, NNF, NDM, APM e NNM), os autores verificaram maiores coeficientes de herdabilidade. Entretanto, os componentes primários da produção de grãos (NPV, NSV e P1S) apresentaram menores valores de herdabilidade, assim como o caráter produção de grãos. Os autores concluíram que esses resultados se devem à maior complexidade dos caracteres primários, que são controlados por um grande número de locos, ao contrário do que ocorre com os caracteres secundários. A maioria dos caracteres secundários apresentou ausência de dominância, que pode ser comprovado pela semelhança dos coeficientes de herdabilidade, entre médias de progênes, nos sentidos amplo e restrito. Assim, pode-se concluir que, na geração F_5 , toda a variância genética se deve à variância aditiva, o que é de grande interesse para a seleção de progênes mais promissoras, principalmente considerando a seleção baseada em médias de progênes ao invés de plantas individuais.

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Material

Duas cultivares comerciais de soja, empregadas como linhagens elite em programas de melhoramento, foram utilizadas para o cruzamento biparental que formou o conjunto de populações utilizado no presente trabalho. Essas cultivares foram selecionadas com base na divergência genética existente entre elas, obtidas a partir do trabalho desenvolvido por Bonato (2000). A seleção foi feita utilizando as cultivares que apresentavam uma das maiores distâncias genéticas, de acordo com os marcadores

moleculares utilizados no trabalho desenvolvido pela autora, isto é, os genitores EMBRAPA 60 e MG/BR46(Conquista) cujo coeficiente de similaridade genética era 0,344 (BONATO, 2000).

- **EMBRAPA 60:** Uma linhagem desenvolvida pela EMBRAPA Soja, resultante do cruzamento entre FT-Abyara x BR 83-147, com a cor da flor branca, da pubescência marrom e da vagem marrom claro. Possui hábito de crescimento vegetativo determinado, ciclo vegetativo médio, semente esférica, com cor do tegumento amarelo fosco e hilo marrom. Em relação às reações às doenças, este possui resistência ao cancro da haste (*Diaporthe phaseolorum* f.sp. *meridionalis*), à pústula bacteriana (*Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*) e à mancha olho-de-rã (*Cercospora sojina*). Entretanto é moderadamente resistente ao cretamento bacteriano (*Pseudomonas savastanoi* pv. *Glycinea*) e ao mosaico comum da soja (Soybean Mosaic Vírus-SMV).

- **MG/BR 46 (Conquista):** Uma linhagem desenvolvida pela EMBRAPA Soja, resultante do cruzamento entre Lo76-4484 x Numaraí, com a cor da flor roxa, da pubescência marrom e da vagem também marrom. Possui hábito de crescimento vegetativo determinado, ciclo médio, semente esférica, com cor do tegumento amarelo e hilo preto. Em relação às reações às doenças, esta possui resistência ao cancro da haste (*Diaporthe phaseolorum* f.sp. *meridionalis*), à pústula bacteriana (*Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*) e à mancha olho-de-rã (*Cercospora sojina*); e ainda possui tolerância aos nematóides de galha (*Meloidogyne incógnita* e *Meloidogyne javanica*).

Os cruzamentos, para a obtenção das sementes da geração F₁ utilizadas, foram feitos em casas de vegetação no ano agrícola de 2005/2006. O avanço da geração F₁ foi realizado no inverno de 2006, sob condições controladas de temperatura e fotoperíodo, a fim de se obter a geração F₂. No ano agrícola de 2006/2007 foram obtidos os dois retrocruzamentos. O conjunto de materiais utilizados, composto pelos genitores e as gerações deles obtidas, constam na Tabela 1.

Tabela 1 – Conjunto de materiais utilizados, incluindo genitores e as gerações derivadas (F_1 , F_2 e os retrocruzamentos)

Conjunto
P_1 – MG/BR 46 (Conquista)
P_2 – EMBRAPA 60
F_1 – EMBRAPA 60 (♀) x MG/BR 46 (Conquista) (♂)
F_2 – EMBRAPA 60 (♀) x MG/BR 46 (Conquista) (♂)
RC_1 – MG/BR 46 (Conquista) (♀) x F_1 (♂)
RC_2 – EMBRAPA 60 (♀) x F_1 (♂)

2.2.2 Características do Ambiente Experimental

A realização desse trabalho foi efetuada sob as condições experimentais de telado e campo da estação experimental do Departamento de Genética da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Essa estação experimental está situada a 22°42'31" de latitude sul e 47° 38'01" de longitude oeste, e a 537 metros de altitude acima do nível do mar no município de Piracicaba, Estado de São Paulo.

2.2.3 Instalação dos Experimentos de Avaliação

A semeadura foi feita em meados de outubro de 2007 em copos plásticos de 150 mililitros de volume, utilizando substrato. As plântulas permaneceram sob condições de casa de vegetação até atingirem o estágio fenológico entre V_3 e V_4 (FEHR et al, 1971), quando foram transplantadas para o campo, coincidindo com o início de novembro.

Para cada geração, foram semeadas 15% a mais de sementes como margem de segurança a fim de garantir um número suficiente de plantas representantes de cada

geração. Assim, para os genitores e as gerações F_1 foi feita uma amostragem de 24 sementes de cada material, 72 sementes para cada um dos retrocruzamentos e 120 sementes para a geração F_2 .

As plântulas foram transplantadas para o campo em linhas de 3 metros com espaçamento de 0,5 metros entre plantas e 0,5 metros entre linhas, utilizando-se três repetições para cada geração. Em cada uma das repetições foi feita uma estratificação das parcelas devido ao gradiente de fertilidade presente na área experimental, fazendo a distribuição das populações por todo o campo. Desse modo, é possível adquirir uma estimativa mais confiável da variância ambiental (RAMALHO, 1993).

Os tratos culturais na condução dos experimentos seguiram as recomendações técnicas para a cultura da soja no Estado de São Paulo e foram feitas irrigações suplementares para garantir as condições experimentais favoráveis para o desenvolvimento das plantas.

2.2.4 Avaliações

As avaliações realizadas neste trabalho foram feitas em plantas individuais. As gerações participantes desse trabalho foram avaliadas em campo, no ano agrícola de 2007/2008, bem como no laboratório no período pós-colheita. Os caracteres a avaliados neste trabalho foram:

- Número de vagens por planta (VP): número total de vagens com sementes formadas na planta.
- Número de sementes por planta (SP): número total de sementes em cada planta.
- Número médio de sementes por vagem (SV): valor obtido da relação entre o número total de sementes por planta e o número total de vagens por planta.
- Produção de grãos (PG): pesagem, em gramas, dos grãos debulhados de cada planta individual.

2.2.5 Análises estatístico-genéticas

As análises estatístico-genéticas foram realizadas utilizando-se o programa computacional SAS[®] versão 9.1.2 assim como o programa Microsoft[®] Office Excel 2003.

A partir dos dados obtidos dos genitores e das gerações F_1 , F_2 e retrocruzamentos foram feitos estudos com médias e variâncias.

Primeiramente, foram utilizadas as médias das gerações para estimar os efeitos gênicos e averiguar se os dados do experimento são adequados ao modelo aditivo-dominante proposto por Mather e Jinks (1984). Para esse fim foi utilizado o teste de escala conjunto, proposto por Cavalli, que consiste na estimação dos parâmetros do modelo m , a e d por meio de quadrados mínimos ponderados dos dados experimentais e da comparação das médias observadas e estimadas utilizando o teste qui-quadrado (X^2). Caso o mesmo seja não significativo, o modelo é adequado para explicar os componentes das médias fenotípicas observadas (MATHER; JINKS, 1984). De acordo com este método tem-se (eq. 1, 2, 3, 4, 5 e 6):

$$P_1 = m + a \quad (1)$$

$$P_2 = m - a \quad (2)$$

$$F_1 = m + d \quad (3)$$

$$F_2 = m + (1/2)d \quad (4)$$

$$RC_1 = m + (1/2)a + (1/2)d \quad (5)$$

$$RC_2 = m - (1/2)a + (1/2)d \quad (6)$$

em que:

m é a média das linhagens genitoras;

a é o desvio devido aos homozigotos;

d é o desvio devido aos heterozigotos;

As estimativas dos parâmetros da média das linhagens genitoras e dos efeitos aditivos e dominantes foram obtidas de acordo com o método dos quadrados mínimos ponderados, utilizando-se como pesos a razão inversa das variâncias médias de cada população, cuja notação matricial seguinte (eq. 7):

$$\hat{\beta} = (C'NS^{-1}C)^{-1}(C'NS^{-1}Y) \quad (7)$$

em que:

$\hat{\beta}$: é o vetor 3 x 1 de estimativas dos componentes de médias;

$$\hat{\beta} = \begin{bmatrix} m \\ a \\ d \end{bmatrix}$$

C : é a matriz 6 x 3 que possui os coeficientes dos efeitos genéticos;

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0,5 \\ 1 & 0,5 & 0,5 \\ 1 & -0,5 & 0,5 \end{bmatrix}$$

N : é a matriz diagonal 6 x 6 do número de plantas de cada geração;

$$N = \begin{bmatrix} n(P_1) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & n(P_2) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & n(F_1) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & n(F_2) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & n(RC_1) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & n(RC_2) \end{bmatrix}$$

S : é a matriz diagonal 6 x 6 das variâncias de cada geração;

$$S = \begin{bmatrix} \hat{\sigma}^2(P_1) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \hat{\sigma}^2(P_2) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \hat{\sigma}^2(F_1) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \hat{\sigma}^2(F_2) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \hat{\sigma}^2(RC_1) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \hat{\sigma}^2(RC_2) \end{bmatrix}$$

Y : é o vetor 6 x 1 de médias observadas em cada geração;

$$Y = \begin{bmatrix} \overline{P_1} \\ \overline{P_2} \\ \overline{F_1} \\ \overline{F_2} \\ \overline{RC_1} \\ \overline{RC_2} \end{bmatrix}$$

A matriz de ponderações do modelo é formada pelo conjunto NS^{-1} , o qual tem a função de aumentar a precisão das estimativas, já que as variâncias de cada geração são obtidas de números diferentes de plantas, de forma que o modelo se torne menos tendencioso na obtenção dos componentes de médias (MATHER; JINKS, 1984).

A aderência do modelo aditivo-dominante foi testada por meio de estimativas de qui-quadrado entre as médias observadas e as médias estimadas pelo modelo, de acordo com a notação matricial seguinte (eq. 8):

$$X^2 = (Y - CM) (NS^{-1}) (Y - CM) \quad (8)$$

a qual equivale a (eq. 9):

$$X^2 = (Y - \hat{Y}) (NS^{-1}) (Y - \hat{Y}) \quad (9)$$

O qui-quadrado tabelado foi testado com três graus de liberdade, já que foram estimados três parâmetros (m , a e d). Caso o resultado fosse não significativo, concluiu-se que os dados se ajustam ao modelo aditivo-dominante proposto. Caso contrário, os dados não se ajustam ao modelo estabelecido e os mesmos poderiam ser submetidos a alguma transformação ou, então, incluídos os parâmetros referentes às interações epistáticas.

A acurácia dos parâmetros estimados pelo modelo foi avaliada por meio dos erros padrão de cada estimativa obtida. Para isso, foi utilizada a seguinte expressão (eq. 10):

$$\sigma = \sqrt{\frac{(C' NS^{-1} C)^{-1} X^2}{GL}} \quad (10)$$

em que:

σ é o erro padrão da estimativa do parâmetro;

C é a matriz 6 x 3 delineamento que possui os coeficientes dos efeitos gênicos;

NS^{-1} é o conjunto que resulta na matriz de ponderações do modelo;

X^2 é o qui-quadrado calculado;

GL é o número de graus de liberdade utilizado para o qui-quadrado.

Em seguida foram estimadas as heteroses em valor absoluto e em percentagem para cada caráter avaliado. A heterose em valor absoluto foi estimada da seguinte forma (eq. 11):

$$\hat{h} = d \quad (11)$$

A heterose em percentagem foi estimada da seguinte forma (eq. 12):

$$\hat{h}\% = (d/m)100 \quad (12)$$

Segundo o procedimento sugerido por Ramalho et al. (1993) as estimativas dos componentes de variância foram obtidas de acordo com o processo apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Esquema da análise de variância com as estimativas dos componentes de variância dentro de cada geração

FV	GL	QM	E(QM)
Dentro de P_1	$n_1 - 1$	Q_A	$\hat{\sigma}_E^2$
Dentro de P_2	$n_2 - 1$	Q_B	$\hat{\sigma}_E^2$
Dentro de F_1	$n_3 - 1$	Q_C	$\hat{\sigma}_E^2$
Dentro de F_2	$n_4 - 1$	Q_D	$\hat{\sigma}_A^2 + \hat{\sigma}_D^2 + \hat{\sigma}_E^2$
Dentro de RC_1	$n_5 - 1$	$\left. \begin{matrix} Q_E \\ Q_F \end{matrix} \right\}$	$Q_E + Q_F = \sigma_A^2 + 2\sigma_D^2 + 2\sigma_E^2$
Dentro de RC_2	$n_6 - 1$		

em que:

$\hat{\sigma}_E^2$ é a estimativa da variância devido ao efeito ambiental;

$\hat{\sigma}_A^2$ é a estimativa da variância genética aditiva;

$\hat{\sigma}_D^2$ é a estimativa da variância genética dominante.

A estimativa da variância ambiental foi obtida por meio das variâncias das gerações P_1 , P_2 e F_1 , de acordo com a equação seguinte (eq. 13):

$$\hat{\sigma}_E^2 = 1/4 \left(\hat{\sigma}_{P_1}^2 + \hat{\sigma}_{P_2}^2 + 2\hat{\sigma}_{F_1}^2 \right) \quad (13)$$

em que:

$\hat{\sigma}_{P_1}^2$ é a estimativa da variância observada na geração P_1 ;

$\hat{\sigma}_{P_2}^2$ é a estimativa da variância observada na geração P_2 ;

$\hat{\sigma}_{F_1}^2$ é a estimativa da variância observada na geração F_1 .

A estimativa da variância aditiva foi estimada de acordo com a equação seguinte (eq. 14):

$$\hat{\sigma}_A^2 = 2\hat{\sigma}_{F_2}^2 - (\hat{\sigma}_{RC_1}^2 + \hat{\sigma}_{RC_2}^2) \quad (14)$$

em que:

$\hat{\sigma}_{F_2}^2$ é a estimativa da variância observada na geração F_2 ;

$\hat{\sigma}_{RC_1}^2$ é a estimativa da variância observada na geração RC_1 ;

$\hat{\sigma}_{RC_2}^2$ é a estimativa da variância observada na geração RC_2 .

A estimativa da variância dominante foi estimada de acordo com a equação seguinte (eq. 15):

$$\hat{\sigma}_D^2 = \hat{\sigma}_{F_2}^2 - \hat{\sigma}_A^2 - \hat{\sigma}_E^2 \quad (15)$$

O coeficiente de herdabilidade no sentido restrito foi estimado de acordo com a seguinte equação (eq. 16):

$$\hat{h}_r^2 = \frac{\hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_A^2 + \hat{\sigma}_D^2 + \hat{\sigma}_E^2} \quad (16)$$

O grau médio de dominância ($g\hat{m}d$) foi estimado de acordo com a seguinte expressão (eq. 17):

$$g\hat{m}d = \sqrt{\frac{2\hat{\sigma}_D^2}{\hat{\sigma}_A^2}} \quad (17)$$

Todas as operações matriciais referidas anteriormente foram realizadas por meio do procedimento PROC IML do programa computacional SAS® versão 9.1.2. As demais equações e estimativas foram calculadas por meio do programa Microsoft® Office Excel 2003.

2.3 Resultados e Discussão

2.3.1 Componentes de médias

O teste de escala conjunto foi calculado, por meio de quadrados mínimos ponderados, para cada um dos caracteres avaliados, ou seja, número de vagens por planta (VP), número de sementes por planta (SP), número de sementes por vagem (SV) e produção de grãos (PG). Os dados perdidos foram desconsiderados na análise; entretanto, essa remoção não afetou os resultados, pois o experimento foi realizado contando com uma margem de perdas de plantas nas populações avaliadas.

Na Tabela 3 estão apresentadas as estimativas das variâncias fenotípicas e das médias observadas para cada uma das gerações utilizadas, para o caráter VP. São apresentadas também as médias estimadas segundo o modelo aditivo-dominante.

Pode-se observar que o qui-quadrado foi não significativo, ou seja, as médias observadas não diferem das médias esperadas. Portanto, o modelo utilizado foi adequado para os dados do experimento, o que indica que não existe influência de outros efeitos, além dos efeitos aditivos e de dominância. Conseqüentemente, as médias observadas e as médias estimadas dos genitores foram muito próximas entre si, apesar da divergência genética entre eles. Observa-se que a média da geração F_1 é superior à média dos genitores e à do genitor superior, indicando que os genitores são divergentes.

Tabela 3 – Número de plantas avaliadas por população, estimativas de variâncias fenotípicas (vagens/planta)², estimativas de médias observadas e esperadas de cada população em vagens/planta, e teste de escala conjunto (X^2) para o caráter número de vagens por planta (VP)

Populações	Nº de plantas	Variância	Média	
			Observada	Esperada
P_1	12	2.990,96	206,56	222,58
P_2	17	501,68	206,16	207,87
F_1	16	2.555,36	283,49	303,02
F_2	97	4.960,94	256,10	259,12
RC_1	59	4.417,24	274,64	262,80
RC_2	57	3.858,20	265,31	255,45
$X^2 = 7,01^{ns}$				

Na Tabela 4, estão apresentadas as estimativas das variâncias fenotípicas e das médias observadas para cada uma das gerações utilizadas, para o caráter SP. São apresentadas também as médias estimadas segundo o modelo aditivo-dominante.

Observa-se que os dados do caráter SP também se ajustam ao modelo aditivo-dominante, pois o teste qui-quadrado foi não significativo. Assim como no caráter discutido anteriormente, a média da geração F_1 é superior à média dos genitores e à do genitor superior, indicando que os genitores são bem divergentes. Nesse caso, a média do genitor P_2 foi superior à média do genitor P_1 , diferentemente do que foi observado para o caráter número de vagens por planta.

Na Tabela 5, estão apresentadas as estimativas das variâncias fenotípicas e das médias observadas para cada uma das gerações utilizadas, para o caráter SV. São apresentadas também as médias estimadas segundo o modelo aditivo-dominante.

Analisando os dados dessa tabela, pode-se observar novamente, que o teste de qui-quadrado foi não significativo, portanto conclui-se que os dados se ajustam bem ao modelo aditivo-dominante utilizado, para o número de sementes por vagem.

Tabela 4 – Número de plantas avaliadas por população, estimativas de variâncias fenotípicas (sementes/planta)², estimativas de médias observadas e esperadas de cada população em sementes/planta, e teste de escala conjunto (X^2) para o caráter número de sementes por planta (SP)

Populações	Nº de plantas	Variância	Média	
			Observada	Esperada
P_1	12	7.926,24	357,72	372,21
P_2	17	2.606,83	411,54	416,60
F_1	16	11.295,05	528,87	567,65
F_2	97	17.405,99	470,99	481,03
RC_1	59	14.681,82	487,81	469,93
RC_2	57	14.362,39	515,80	492,12
$X^2 = 6,69^{ns}$				

Tabela 5 – Número de plantas avaliadas por população, estimativas de variâncias fenotípicas (sementes/vagem)², estimativas de médias observadas e esperadas de cada população em sementes/vagem, e teste de escala conjunto (X^2) para o caráter número de sementes por vagem (SV)

Populações	Nº de plantas	Variância	Média	
			Observada	Esperada
P_1	12	0,016	1,74	1,72
P_2	17	0,022	1,99	2,00
F_1	16	0,012	1,86	1,86
F_2	97	0,040	1,85	1,86
RC_1	59	0,033	1,78	1,79
RC_2	57	0,031	1,95	1,93
$X^2 = 1,51^{ns}$				

Neste caso, a média do genitor P_1 foi inferior à média do genitor P_2 e as médias da geração F_1 e da geração F_2 foram muito semelhantes às médias dos genitores.

Na Tabela 6, estão apresentadas as estimativas das variâncias fenotípicas e das médias observadas para cada uma das gerações utilizadas, para o caráter PG. São apresentadas também as médias estimadas segundo o modelo aditivo-dominante.

Tabela 6 – Número de plantas avaliadas por população, estimativas de variâncias fenotípicas (gramas/planta)², estimativas de médias observadas e esperadas de cada população em gramas/planta, e teste de escala conjunto (X^2) para o caráter produção de grãos (PG)

Populações	Nº de plantas	Variância	Média	
			Observada	Esperada
P_1	12	251,27	59,47	60,87
P_2	17	48,26	49,73	49,64
F_1	17	355,48	86,50	87,21
F_2	97	348,44	68,46	71,23
RC_1	60	364,31	77,20	74,04
RC_2	61	277,17	69,88	68,42
$X^2 = 4,37^{ns}$				

Observa-se que o modelo aditivo-dominante é adequado para os dados calculados, pois o teste de qui-quadrado foi não significativo para o caráter produção de grãos. O genitor P_1 possui média superior à do genitor P_2 e as gerações F_1 e F_2 apresentam médias superiores à média dos genitores e do genitor superior, indicando alta divergência entre genitores.

Os efeitos gênicos e suas magnitudes com base no modelo aditivo-dominante, estimados por meio dos componentes de médias, estão apresentados na Tabela 7; para os caracteres VP, SP, SV e PG.

Tabela 7 – Componentes de médias estimados para os caracteres número de vagens por planta (VP), número de sementes por planta (SP), número de sementes por vagem (SV) e produção de grãos (PG); contendo as estimativas da média, efeito aditivo e efeito de dominância e respectivos desvios padrão

Caráter	$\hat{m}$	$\hat{a}$	$\hat{d}$
VP	215,22 $\pm$ 10,31	7,35 $\pm$ 9,97	87,80 $\pm$ 20,38
SP	394,41 $\pm$ 18,46	-22,19 $\pm$ 17,52	173,24 $\pm$ 38,16
SV	1,863 $\pm$ 0,015	-0,142 $\pm$ 0,014	-0,005 $\pm$ 0,027
PG	55,25 $\pm$ 2,43	5,62 $\pm$ 2,29	31,96 $\pm$ 4,97

Observa-se a predominância do efeito gênico de dominância para o caráter VP, cuja magnitude foi bastante superior ao do efeito aditivo. Os resultados indicam ausência de efeito aditivo para esse caráter, pois o valor do erro padrão foi superior ao valor do efeito gênico aditivo estimado pelo modelo. Isso se deve ao fato que os genitores têm médias muito semelhantes (Tabela 3).

Provavelmente, as médias para o caráter VP apresentaram valores elevados em função do plantio de mudas no campo e do maior espaçamento entre plantas, o que favoreceu o maior desenvolvimento delas. O mesmo foi observado por Herbert e Litchfield (1982), que concluíram que grande parte das diferenças no VP se deve às variações do arranjo espacial e da densidade de plantas.

Pandini et al. (2002), avaliando seis genitores e as quinze populações F_1 derivadas deles, observaram que as médias para VP oscilaram entre 210,14 a 759,90 vagens por planta, compatíveis com o resultado da Tabela 7. Por outro lado, Arias (1986) obteve médias que variaram de 46,01 a 83,10 no plantio de inverno e de 31,82 a 46,16 vagens por planta no verão; os valores do efeito aditivo variaram de 5,01 a 36,23 no inverno e de 1,39 a 14,35 no verão; e os valores do efeito de dominância variaram de 1,56 a 18,95 no inverno e de 2,34 a 26,82 no verão. O autor afirma que as maiores magnitudes obtidas no plantio de inverno se devem ao maior período de crescimento vegetativo nessa situação. Houve uma predominância do efeito gênico de dominância

nos seis cruzamentos avaliados nas duas diferentes épocas de plantio, corroborando com os resultados obtidos no presente trabalho.

As estimativas de média para o caráter SP mostram um valor relativamente elevado (Tabela 7). A razão pode ter sido o plantio de mudas no campo com um espaçamento superior ao que normalmente é plantado para a cultura da soja. Em função disso, a planta tem maior espaço para crescer e, portanto, produzir maior quantidade de folhas que resultam em maior área fotossintética e maior número de sementes por planta. Resultados diferentes foram obtidos por Johnson, Robinson e Comstock (1955), avaliando duas populações de plantas F_4 e F_5 , com médias de 83,4 e 68,8 sementes por planta. Para esse caráter, houve predominância do efeito gênico dominante, e o efeito aditivo detectado pode ser desconsiderado, em função do seu elevado erro padrão.

Os resultados apresentados na Tabela 7 indicam ausência de dominância para o caráter SV, pois o efeito gênico dominante foi não significativo. Ao contrário, o efeito aditivo estimado pelo modelo foi altamente significativo, predominando na herança do caráter. Arias (1986) obteve tanto valores positivos quanto negativos para os efeitos gênicos aditivos e de dominância. Os valores para o efeito aditivo variaram de -0,02 a 0,15 no plantio de inverno e de 0,01 a 0,29 no verão; e para o efeito de dominância variaram de -0,01 a 0,16 no plantio de inverno e de -0,17 a 0,37 no de verão. O efeito gênico de dominância predominou na maioria dos cruzamentos e nas duas épocas de plantio estudadas, sendo superior ao efeito aditivo. Esses resultados foram diferentes do presente trabalho.

Arias (1986) obteve ainda estimativas para a média do SV, que variaram de 1,45 a 1,60 sementes por vagem no plantio de inverno e de 1,17 a 1,45 sementes por vagem no plantio de verão. O autor afirma que as baixas estimativas de médias ocorreram em função maior período de fase reprodutiva no inverno levando à formação de sementes maiores e mais pesadas, reduzindo o SV; no plantio de verão, as médias foram reduzidas em função do ataque de pragas que reduziram a área fotossintética. Estimativas de médias mais elevadas foram obtidas por Pandini et al (2002), variaram de 1,32 a 1,91 sementes por vagem, mais próximas, portanto, ao resultado observado no presente trabalho.

A média para o caráter PG, isto é, 55,25 gramas por planta (Tabela 7), está dentro da variação de médias obtidas por outro trabalho, que oscilaram entre 48,45 a 89,20 gramas por planta (PANDINI; VELLO; LOPES, 2002). Toledo et al (2000) avaliaram quatro linhagens e as populações descendentes (F_2 , F_3 , F_7 , F_8 , F_9 e F_{10}) em 17 ambientes, e obtiveram estimativas de médias que variaram de 13,96 a 60,68 gramas por planta. Portanto, a média estimada para plantas individuais neste estudo está em concordância com o que foi estimado pelos autores.

Na Tabela 7, observa-se ainda que houve uma predominância do efeito gênico de dominância em relação ao efeito aditivo, para o caráter PG. Apesar de ambos apresentarem significância, a magnitude da estimativa do efeito dominante foi mais de cinco vezes superior ao valor do efeito aditivo, realçando a grande divergência entre os genitores, para este caráter. Toledo et al (2000) obtiveram estimativas do efeito gênico aditivo que variaram de 0 a 17,79 e estimativas de efeito de dominância que variaram de -153,31 a 58,64. Os autores afirmam que foi evidente a predominância de efeito gênico aditivo, presente em aproximadamente 80% dos modelos. Esse resultado contradiz o observado para esse caráter no presente trabalho.

Na Tabela 8, estão apresentados os dados referentes às estimativas de heterose absoluta e em percentagem da média dos genitores para os caracteres VP, SP, SV e PG.

Tabela 8 – Estimativas de heterose absoluta e em percentagem para os caracteres número de vagens por planta (VP), número de sementes por planta (SP), número de sementes por vagem (SV) e produção de grãos (PG)

$\hat{h}$	VP	SP	SV	PG
Absoluta	87,80	173,24	-0,001	31,96
Percentual	40,79	43,93	-0,27	57,84

De acordo com os dados estimados, a maioria das estimativas de heterose apresentou valores positivos, ou seja, houve um aumento da magnitude das médias na

geração F_1 em relação às médias dos genitores. Somente o caráter SV apresentou valor de heterose praticamente nulo.

Avaliando as gerações F_1 provenientes do cruzamento entre oito diferentes genitores, Campos (1979) observou um aumento do número de vagens por planta em onze dos dezesseis híbridos avaliados. As estimativas de heterose obtidas para esse caráter variaram de -14,51% a 39,11%. A maior heterose em percentual estimada pelo autor atingiu um valor muito próximo ao obtido no presente trabalho. Em contrapartida, no experimento desenvolvido por Moro (1990), foram observadas estimativas de heterose para o caráter VP que variaram de 21,88% a 92,08%, em cinco cruzamentos. Essas estimativas apresentaram uma amplitude maior e foram mais compatíveis com o que foi observado neste trabalho.

De acordo com a Tabela 8, a heterose em percentagem obtida para o caráter SP foi de 43,93%. As estimativas de heterose, em percentagem, calculadas por Campos (1979), para esse caráter, variaram de -7,98% a 40,67%. Entre as populações F_1 avaliadas, onze apresentaram médias superiores à média dos genitores, e cinco delas foram superiores ao genitor superior. Os valores são diferentes da estimativa obtida neste trabalho, mas o maior valor obtido pelo autor está muito próximo do que consta na Tabela 8. Moro (1990) estimou a heterose para o caráter SP em cinco cruzamentos diferentes e obteve estimativas que variaram de -7,37% a 117,47%, no período da safra. No plantio de inverno, o autor obteve estimativas de heterose de 4,98% e 7,17%, nos dois cruzamentos avaliados nesse período. Essas estimativas são consideradas baixas quando comparadas com as demais.

Campos (1979) obteve estimativas de heterose em percentual para o caráter SV que variaram de -8,05% a 9,05%. Dentre os híbridos avaliados por ele, apenas três apresentaram heterose positiva para o caráter em questão. Assim, a maioria dos híbridos apresentou heterose negativa, como ocorreu com a estimativa obtida neste trabalho. Da mesma forma, Moro (1990) obteve estimativas que variaram de -29,70% a 13,25%, que são valores relativamente baixos quando comparados com os estimados para os demais caracteres.

Já para a PG, Campos (1979) observou para diferentes F_1 estimativas de heterose que variaram de 0,59% a 44,33%, valores inferiores ao que consta na Tabela

8. O maior valor de heterose obtido por Moro (1990) para esse caráter foi de 118,26%, e o menor foi de 0,60%, dentre cinco cruzamentos avaliados, de forma que a estimativa obtida neste trabalho encontra-se dentro do intervalo de dados estimados pelo autor.

2.3.2 Componentes de variância

Os componentes de variância estimados para os caracteres avaliados no presente trabalho estão apresentados na Tabela 9, assim como as estimativas de grau médio de dominância e dos coeficientes de herdabilidade.

Tabela 9 – Estimativas dos componentes da variância fenotípica entre plantas: variância aditiva, variância dominante, variância ambiental e estimativas do grau médio de dominância e herdabilidade entre plantas para os caracteres número de vagens por planta (VP), número de sementes por planta (SP), número de sementes por vagem (SV) e produção de grãos (PG)

Caracteres	$\hat{\sigma}_A^2$	$\hat{\sigma}_D^2$	$\hat{\sigma}_E^2$	$g\hat{m}d$	$\hat{h}^2$
VP	1.646,45	1.163,65	2.150,84	1,19	0,33
SP	5.767,76	3.357,43	8.280,79	1,08	0,33
SV	0,0171	0,0078	0,0155	0,96	0,42
PG	55,39	40,42	252,62	1,21	0,16

Para o caráter VP, a magnitude da variância aditiva foi superior à da variância de dominância e a estimativa da variância ambiental foi 1,3 vezes superior à aditiva.

Cecon (1983) obteve resultados semelhantes na geração F_3 , com variância aditiva superior à variância dominante e variância ambiental bastante alta. Entretanto, observou resultados diferentes na avaliação da geração F_2 , em que obteve uma estimativa negativa para a variância aditiva e positiva para a variância dominante, sendo essa superior nesse caso.

O caráter VG apresentou herdabilidade intermediária comparada às demais observadas para os demais caracteres. Essa estimativa encontra-se dentro do padrão

das estimativas de 0,31% a 40,61% encontradas por Arias (1986), em gerações F_2 e F_3 . Entretanto, ela apresenta uma magnitude superior se comparada às estimativas dos estudos realizados por Anand e Torrie (1963), que variaram de 0% a 20%, em gerações F_3 e F_4 em soja. Já no trabalho desenvolvido por Reis et al (2002), com plantas na geração F_5 provenientes de três cruzamentos diferentes, foram obtidas estimativas de herdabilidade para plantas individuais que variaram de 25,6% a 69,8%, concordando com a estimativa obtida no presente trabalho. Entretanto as estimativas obtidas por Campos (1979), foram superiores, com valores de 44,0% e 47,0%. Vale ressaltar que as estimativas de herdabilidade são mais elevadas em gerações avançadas de autofecundações em plantas autógamas, em função do aumento da variância aditiva.

A estimativa do grau médio de dominância obtida para o caráter VP indica a presença de dominância completa ($g\hat{m}d = 1,19$) no controle deste caráter.

A variância aditiva foi superior à variância dominante para o caráter SP. A variância ambiental foi maior para esse caráter, sendo 1,4 vezes superior à variância aditiva. Resultado semelhante foi obtido por Cecon (1983) ao avaliar populações da geração F_3 ; porém na avaliação de populações da geração F_2 houve predominância da variância devida à dominância em relação à variância aditiva.

A estimativa de herdabilidade obtida para o caráter SP foi semelhante à obtida para o caráter VP, sendo que as duas são consideradas herdabilidades de magnitudes intermediárias. No estudo desenvolvido por Reis et al (2002), foram obtidas estimativas que variaram de 18,9% a 61,5% para o caráter SP nas gerações F_5 de três cruzamentos diferentes. Estimativas semelhantes foram obtidas por Johnson, Robinson e Comstock (1955), que obtiveram 18,6% de herdabilidade para uma população e 54,9% para outra população, em gerações F_4 e F_5 de soja. Esses resultados corroboram com as estimativas de herdabilidade estimadas neste trabalho, para o caráter SP. Em contrapartida, as estimativas de 42% e 47%, estimadas por Campos (1979) em F_2 foram superiores às mencionadas anteriormente.

Para o caráter SP houve presença de dominância completa, como pode ser observado pela estimativa do grau médio de dominância ($g\hat{m}d = 1,08$).

A variância aditiva foi superior às variâncias dominante e ambiental, para o caráter SV. De acordo com a estimativa do grau médio de dominância ($g\hat{m}d = 0,96$), pode-se concluir que a dominância completa governa este caráter.

A estimativa de herdabilidade para o caráter SV foi um pouco mais alta que os caracteres anteriores (42,0%). Em comparação com as estimativas baixas e médias obtidas pelo estudo de Arias (1986), que variaram de 9,23% a 18,90%, a herdabilidade desse caráter apresentou um valor superior. Anand e Torrie (1963), assim como o último autor, também obtiveram estimativas de herdabilidade baixas e médias para esse caráter, discordando com o resultado deste estudo. Em concordância, as estimativas obtidas por Reis et al (2002), para plantas individuais F_5 , variaram de 6,82% a 25,22%; consideradas baixas e médias em comparação com a obtida no presente trabalho. Entretanto, essas estimativas são discrepantes em relação às obtidas por Johnson, Robinson e Comstock (1955), avaliando duas populações das gerações F_4 e F_5 , que foram de 59,5% e 59,4%. Mas as estimativas obtidas por Campos (1979) corroboram com o presente trabalho, sendo elas 39,0% e 45,0%.

A variância aditiva predominou em relação à variância de dominância para o caráter PG e o grau médio de dominância para este caráter foi muito próximo a um ($g\hat{m}d = 1,21$), o que indica a presença de dominância completa. Entretanto, Kamikoga (1989) obteve uma estimativa do grau médio de dominância de 0,40 para um cruzamento biparental em soja, indicando dominância parcial. Resultado semelhante foi observado por Brim e Cockerham (1961), em desacordo com o valor estimado pelo presente trabalho.

O caráter PG foi o que apresentou o menor valor para a estimativa de herdabilidade entre os caracteres avaliados neste estudo. Resultados semelhantes foram obtidos por Anand e Torrie (1963). No estudo realizado por Toledo et al (2000) a herdabilidade no sentido restrito, para esse caráter, variou de 19% a 33%, enquanto que no trabalho desenvolvido por Johnson, Robinson e Comstock (1955), foram estimadas herdabilidades para PG de 25,2% e 39,5%, também superiores ao que foi observado no presente trabalho. O mesmo foi observado por Campos (1979) que obteve estimativas de herdabilidade para esse caráter de 30% e 50%. Entretanto, as

estimativas obtidas de plantas individuais F_5 por Reis et al (2002) foram muito discrepantes, variando de 20,6% a 72,0%. Entretanto, estes autores avaliaram gerações mais avançadas, em que a variância aditiva é maior e a variância dominante é próxima à zero. Dessa forma, nessas gerações os valores dos coeficientes de herdabilidade tendem a ser superiores aos obtidos em gerações mais precoces.

3 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir, para a população avaliada, que o modelo aditivo-dominante explica a variação dos caracteres número de vagens por planta (VP), número de sementes por planta (SP), número de sementes por vagem (SV) e produção de grãos (PG). Todos os caracteres apresentaram dominância completa, havendo, conseqüentemente, manifestação da heterose para os caracteres VP, SP e PG. A herdabilidade entre plantas individuais foi baixa para PG e mediana para os componentes da produção, mostrando que PG é mais influenciado pelo ambiente.

REFERÊNCIAS

- ANAND, S.C.; TORRIE, J.H. Heritability of yield and other traits and interrelationships among traits in the F₃ and F₄ generations of three soybean crosses. **Crop Science**, Madison, v. 3, n. 6, p. 508-511, Nov./Dec. 1963.
- ARIAS, E.R.A. **Teste de escala conjunta na estimação de parâmetros genéticos em soja (*Glycine Max* (L.) Merrill)**. 1986. 88 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1986.
- BONATO, A.L.V. **Avaliação da diversidade genética entre cultivares brasileiras de soja, através de marcadores AFLP**. Piracicaba, 2000. 89p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2000.
- BRAVO, J.A.; FEHR, W.R.; CIANZIO, S.R.; Use of pod width for indirect selection of seed weight in soybeans. **Crop Science**, Madison, v. 20, n. 4, p. 507-510, July/Aug. 1980.
- BRIM, C.A.; COCKERHAM, C.C. Inheritance of quantitative characters in soybeans. **Crop Science**, Madison, v. 1, n. 3, p. 187-190, May/June 1961.
- CAMACHO, L.H. Varianzas genéticas y heredabilidad de características vegetativas y reprodutivas de la soya *Glycine max* (L.) Merrill. **Acta Agronomica**, Palmira, v. 21, n. 4, p. 145-152, 1971.
- CAMPOS, L.A.C. **Estudo da heterose, da herdabilidade e de correlações de algumas características agrônômicas em cruzamentos de soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**. 1979. 76 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1979.
- CECON, P.R. **Herança de alguns caracteres em soja (*Glycine max* (L.) Merrill), nas gerações F₂ e F₃ de cruzamentos fatoriais**. 1983, 58 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1983.
- FALCONER, D.S. **Introdução à genética quantitativa**. Tradução de Martinho de A.A e José C.S. Viçosa: Imprensa Universitária da Universidade Federal de Viçosa, 1981. 279 p.
- FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E.; BURMOOD, D.T.; PENNINGTON, J.S. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. **Crop Science**, Madison, v 11, n. 6, p. 929-931, Nov./Dec. 1971.
- HERBERT, S.J.; LITCHFIELD, G.V. Partitioning soybean seed yield components. **Crop Science**. Madison, v. 22, n. 5, p. 1074-1079, Sept./Oct. 1982.

JOHNSON, H.W.; ROBINSON, H.F.; COMSTOCK, R. E. Estimates of genetic and environmental variability in soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v. 47, n. 10, p. 477-483, Oct. 1955.

KAMIKOGA, M.K. **Herança do acamamento e associações com outros caracteres em soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**. 1989. 130 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

MATHER, K.; JINKS, J.L. **Introdução à genética biométrica**. Tradução de F.A.M. DUARTE *et al.* Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1984. 242 p.

MAURO, A.O.; SEDYIAMA, T.; SEDYIAMA, C.S. Estimativas de parâmetros genéticos em diferentes tipos de parcelas experimentais em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 5, p. 667-672, maio 1995.

MICROSOFT. Microsoft Office Excel 2003. In: **Microsoft Office Professional 2003**. Copyright. 1983-2003. Microsoft Corporation.

MORO, G.L. **Herança da precocidade, herdabilidade de alguns caracteres agrônômicos, correlações entre estes caracteres e heterose em soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**. 1990. 57 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade de Viçosa, Viçosa, 1990.

PANDINI, F.; VELLO, N.A.; LOPES, A.C.A. Heterosis in soybeans for seed yield components and associated traits. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 45, n. 4, p. 401-412, Dec. 2002.

RAMALHO, M.A.P. *et al.* **Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro**. Goiânia: UFG, 1993. 271 p.

REIS, E.F.; REIS, M.S.; SEDIYAMA, T.; CRUZ, C.D. Estimativa de variâncias e herdabilidades de algumas características primárias e secundárias da produção de grãos em soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 4, p. 749-761, jul./ago. 2002.

FREIRE FILHO, F.R.; VELLO, N.A. Herança de caracteres agrônômicos em genótipos precoces de soja. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 41, 1989, Fortaleza. **Ciência e Cultura São Paulo**. São Paulo: SBPC, 1989. p. 680-681.

SAS INSTITUTE, INC. **Statistical analysis system**. Release 9.1.3 Service Pack 2. 2004. Cary, NC, USA.

TOLEDO, J.F.F. de; ARIAS, C.A.A.; OLIVEIRA, M.F. de; TRILLER; C; MIRANDA, Z.F.S. Genetical and environmental analyses of yield in six biparental soybean crosses. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 9, p. 1783-1796, Sept. 2000.