



FREDERICO DELLANO SOUZA SILVA

**MELHORAMENTO DA SOJA VISANDO PRODUTIVIDADE E
TEORES DE ÓLEO E PROTEÍNA NOS GRÃOS**

**LAVRAS-MG
2019**

FREDERICO DELLANO SOUZA SILVA

**MELHORAMENTO DA SOJA VISANDO PRODUTIVIDADE E TEORES DE ÓLEO
E PROTEÍNA NOS GRÃOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Adriano Teodoro Bruzi
Orientador

**LAVRAS-MG
2019**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Silva, Frederico Dellano Souza.

Melhoramento da soja visando produtividade e teores de óleo e
proteína nos grãos / Frederico Dellano Souza Silva. - 2019.

72 p. : il.

Orientador(a): Adriano Teodoro Bruzi.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2019.
Bibliografia.

1. *Glycine max* (L). 2. Interação genótipos x ambientes. 3.
Qualidade de grãos. I. Bruzi, Adriano Teodoro. II. Título.

FREDERICO DELLANO SOUZA SILVA

**MELHORAMENTO DA SOJA VISANDO PRODUTIVIDADE E TEORES DE ÓLEO
E PROTEÍNA NOS GRÃOS**

**SOYBEAN BREEDING FOR GRAIN YIELD, OIL AND PROTEIN CONTENT IN
GRAINS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 5 de setembro de 2019.

Dra. Ângela de Fátima Barbosa Abreu	Embrapa Arroz e Feijão
Dr. Carlos Eduardo Pulcinelli	Souza Cruz
Dr. Pedro Milanez de Rezende	UFLA
Dr. Renzo Garcia Von Pinho	UFLA

Prof. Dr. Adriano Teodoro Bruzi
Orientador

**LAVRAS-MG
2019**

*Ao Espírito Santo de Deus, meu melhor amigo.
À minha família, pelo amor, carinho e apoio em todos os momentos.
Em especial à minha esposa, Melina Elisa Alves Silva. Teu amor é
minha energia, meu motor.
Dedico*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela bênção de concluir o doutorado em Agronomia/Fitotecnia, pelo Seu carinho e amor incondicional.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), ao Departamento de Agricultura (DAG), e aos professores da Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, pois “se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes.” (Isaac Newton).

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo durante a realização deste curso. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

À minha querida esposa Mel, pelo incentivo constante, pela companhia e amor. Eu sei que sem você, isso não seria possível.

Aos meus pais, Valdomiro Laurêncio da Silva e Maria de Fátima Souza Silva, e aos meus irmãos, Francêscle Vallone Souza Laurêncio e Fayra Duanne Souza Silva, pelo apoio incondicional, investimento, amor e valores transmitidos.

Aos meus pastores, Pr. Luiz Carlos da Silva e Pra. Eliane Moreira Alves Silva, pelas orações e bênçãos ministradas sobre a minha vida, pelo investimento, cuidado e amor de pais.

Aos meus amigos. Vocês são presentes de Deus na minha vida.

Ao professor e orientador Dr. Adriano Teodoro Bruzi, pela oportunidade, paciência, conselhos e confiança concedida. Agradeço pela transmissão de conhecimentos que edificaram a minha vida pessoal e profissional. Levarei o seu ensino e orientação por toda a vida.

Ao grupo Pesquisa Soja, pelo apoio, convivência, amizade, e grandes contribuições no decorrer deste curso.

Aos funcionários da Universidade Federal de Lavras, em especial aos do setor de grandes culturas e à Marli, pela ajuda e serviços prestados que me auxiliaram durante o curso.

Aos pastores e irmãos da Igreja Batista Central de Lavras, pelas amizades, orações, direcionamentos, ensinamentos e amor.

A todos que estiveram ao meu lado nessa caminhada.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

A soja é a cultura mais cultivada do agronegócio brasileiro, com uma área expressivamente superior às alcançadas pelas demais *commodities*. A importância da cultura da soja é determinada, principalmente, pelos altos teores de óleo e proteína, que variam em torno de 20% e 40%, respectivamente. Contudo, em função da interação genótipos x ambientes, a composição química dos grãos, como os conteúdos de óleo e proteína, é afetada. Assim, foram realizadas duas pesquisas neste trabalho, com o intuito de ampliar o conhecimento sobre a cultura da soja. No primeiro trabalho objetivou-se avaliar o desempenho agrônomico e a qualidade de grãos de progênies de soja, bem como estimar parâmetros genéticos e fenotípicos associados à produtividade de grãos, teor de óleo e teor de proteína. Os dados foram analisados usando a abordagem de modelos mistos. Foram estimados os parâmetros genéticos e fenotípicos, ganho esperado e realizado com a seleção, correlação genética, resposta correlacionada, além da distribuição de frequência das médias Blup's. As estimativas da variância genética denotam variabilidade entre as progênies, possibilitando a seleção de genótipos com bom desempenho agrônomico e altos teores de óleo e proteína. Além disso, verificou-se a existência de influência da interação genótipos x ambientes nas estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos associados aos caracteres avaliados. No segundo trabalho objetivou-se determinar o efeito da interação genótipos x ambientes (safra e locais), bem como a contribuição relativa das fontes de variação na produtividade de grãos e teores de óleo e proteína de progênies de soja cultivadas em diferentes ambientes. Foram realizadas as análises de variância conjuntas, por local ou safra, e a análise conjunta geral, envolvendo todos os locais e anos agrícolas. Foi estimada a contribuição relativa das fontes de variação, bem como a herdabilidade para todos os caracteres avaliados. Para todos os caracteres avaliados a contribuição relativa do efeito genotípico foi maior que do efeito da interação G x A. Assim, na expressão fenotípica, há maior influência de fatores de natureza genética. Para o caráter teor de proteína, a avaliação em um maior número de locais em detrimento de um maior número de safras é relativamente mais importante. Por seu turno, para o caráter teor de óleo a otimização dos experimentos deve ser no sentido de avaliar o caráter em um maior número de safras em detrimento de um maior número de locais.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) Merrill. Parâmetros genéticos e fenotípicos. Interação genótipos x ambientes. Qualidade de grãos.

ABSTRACT

The importance of soybean for Brazilian agribusiness is notably. In terms of area, it is the most cultivated crop in this South America country. The oil and protein content, 20 and 40% respectively, have a significant importance for soybean cultivation. However, the genotype-by-environment (GE) interaction has influence on grains chemical composition, such as oil and protein content. Due to its importance, two scientific works were performed in order to increase the knowledge about GE interaction effects in soybean oil and protein content. On the first work, soybean progenies were evaluated for their agronomic performance and grain quality. The collected data were analyzed by using mixed model approach in order to estimate genetic and phenotypic parameters associated to grain yield, grain oil and protein content. The expected and realized selection gains, correlation and correlation-response between these traits, and BLUPs frequency distribution were also estimated. The significance of the estimate of genetic variance denotes variability between soybean progenies, allowing selection of good agronomic performance and high levels of oil and protein content genotypes. The GE interaction influence was noticed on all three evaluated traits. In addition, a second study was performed aiming to determine and decompose the GE interaction effects into genotype-by-crop years and genotype-by-location interactions, as well as the relative contribution of source of variation in grain yield, grain oil and protein content of soybean progenies cultivated in different environments. For this purpose, joint analyzes by location, by crop year, and by all environments (location x crop year) were performed. The relative contribution of each source of variation as well as the heritability for these traits were estimated. The relative contribution of the genetic effect was greater than the effect of the GE interaction for all traits. Therefore, genetic factors perform greatly in phenotypic expression. For protein content trait, it is preferable to evaluate a vast number of locations over a larger number of crop seasons. On the other hand, for oil content trait, aiming experiment optimization, it is recommended to evaluate the progenies over several crop seasons in detriment of a larger number of locations.

Keywords: *Glycine max* (L.) Merrill. Genetic and phenotypic parameters. Genotype x environment interaction. Grain quality.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL.....	10
1 INTRODUÇÃO	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1 O melhoramento da soja no Brasil	12
2.2 Melhoramento genético da soja para qualidade de grãos	14
2.3 Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos para qualidade de grãos	15
2.4 Interação genótipos x ambientes na cultura da soja	18
REFERÊNCIAS	21
CAPÍTULO 2 É POSSÍVEL TER SUCESSO COM A SELEÇÃO PARA PRODUTIVIDADE E TEORES DE ÓLEO E PROTEÍNA NOS GRÃOS EM SOJA?	25
1 INTRODUÇÃO	27
2 MATERIAIS E MÉTODOS	28
2.1 Tratamentos genéticos e ambientes experimentais	28
2.2 Condução dos experimentos.....	31
2.3 Análise estatística dos dados	32
2.4 Estimativa dos componentes genéticos e fenotípicos	33
3 RESULTADOS.....	36
4 DISCUSSÃO.....	42
5 CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS	46
APÊNDICE A.....	49
CAPÍTULO 3 INTERAÇÃO GENÓTIPOS X ANOS AGRÍCOLAS E GENÓTIPOS X LOCAIS E IMPLICAÇÕES NA PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE GRÃOS EM SOJA.....	50
1 INTRODUÇÃO.....	52
2 MATERIAIS E MÉTODOS	53
2.1 Tratamentos genéticos e ambientes experimentais	53
2.2 Condução dos experimentos.....	56
2.3 Análise estatística dos dados	57

3	RESULTADOS.....	60
4	DISCUSSÃO.....	66
5	CONCLUSÕES.....	69
	REFERÊNCIAS.....	70
	APÊNDICE B.....	72

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL

1 INTRODUÇÃO

A importância da cultura da soja é determinada principalmente pelos altos teores de óleo e proteína que variam em torno de 20% e 40%, respectivamente (PATIL et al., 2018). Além disso, a cadeia produtiva da soja tem sido impulsionada devido ao crescimento populacional, que por sua vez aumenta consideravelmente a demanda por produtos derivados da soja, como farelo e óleo de soja. Para atingir esse nível de importância na economia nacional, a soja é a cultura agrícola que conta com o maior complexo agroindustrial do Brasil. O complexo soja é o principal setor exportador do agronegócio brasileiro, com participação de 44,6% no valor total das vendas externas do setor (FIESP, 2019).

Os programas de melhoramento de soja têm muitas vezes focado apenas no aumento da produtividade, fazendo com que hajam possíveis perdas nos teores de óleo e proteína dos grãos. Acréscimos nesses teores permitem a obtenção de uma matéria-prima de melhor qualidade, beneficiando a indústria e os consumidores. Para se obter cultivares de soja produtivas e com altos teores de óleo e proteína nos grãos, é essencial estimar parâmetros genéticos e fenotípicos, bem como estudar o efeito da interação genótipos x ambientes, visando nortear as estratégias de melhoramento.

Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos, tais como variâncias genéticas e fenotípicas, herdabilidades, correlações, e ganhos esperados com a seleção, são imprescindíveis para o sucesso dos programas de melhoramento genético. Estas orientam a tomada de decisões relacionadas à escolha do método de melhoramento mais apropriado, bem como aos caracteres a serem selecionados nas etapas iniciais e avançadas do programa de melhoramento (CRUZ, 2005). Além disso, é importante obter as estimativas dos parâmetros a partir de dados experimentais oriundos de mais de um ambiente (ano, local), pois os parâmetros estimados a partir de somente um ambiente podem ser muito influenciados pelo efeito da interação genótipos x ambientes (G x A), podendo provocar erros na tomada de decisão (BIANCHI, 2018).

No estudo da interação genótipos x ambientes, uma informação de grande importância é comparar a contribuição relativa das interações genótipos x locais e genótipos x anos, pois isto permite nortear estratégias a serem adotadas posteriormente, nos programas de

melhoramento de plantas, possibilitando ao melhorista decidir sobre a necessidade de se investir em experimentos com um maior número de locais ou com um maior número de safras. Essa ferramenta de estudo tem sido utilizada para alguns caracteres, como produtividade de grãos (PEREIRA, 2017; ROCHA et al., 2009; VASCONCELOS et al., 2010; VON PINHO, 2016), porém, essas informações ainda são restritas para qualidade de grãos.

Do exposto, objetivou-se avaliar o desempenho agrônômico e a qualidade de grãos de progênes de soja, estimar parâmetros genéticos e fenotípicos, quantificar o efeito da seleção na produtividade de grãos para os teores de óleo e proteína nos grãos, determinar o efeito da interação genótipos x ambientes (safras e locais) e, estimar a contribuição relativa das fontes de variação na produtividade de grãos e nos teores de óleo e proteína em diferentes ambientes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O melhoramento da soja no Brasil

O melhoramento da soja, desenvolvido ao longo dos anos por diversas instituições públicas e privadas, em busca de novas cultivares adaptadas às condições brasileiras, e com maiores produtividades, foi, e tem sido, o principal responsável pela ocupação e crescimento da soja no Brasil (SILVA et al., 2017).

A soja está entre as plantas mais antigas do mundo, conhecida há mais de 5.000 anos antes de Cristo. Encontrava-se entre os cinco grãos sagrados, essenciais para a existência de seus povos, e tornou-se uma cultura de importância mundial nas últimas décadas (SEDIYAMA; SILVA; BOREM, 2015). Com base em evidências geográficas e históricas, acredita-se que a soja foi originada e domesticada no Norte da China e, posteriormente, disseminada para outras regiões do mundo (HYMOWITZ, 2004).

No Brasil, o primeiro relato de pesquisa com a cultura da soja foi feito por Gustavo D'Utra, em 1882, no estado da Bahia (SEDIYAMA; TEXEIRA; REIS, 2005). As cultivares plantadas nesse estado vieram dos Estados Unidos (EUA), porém, não tiveram boa adaptação, devido às marcantes diferenças ambientais em relação ao ambiente de cultivo do estado baiano e o ambiente de origem. Por esse motivo, em 1891, outras cultivares foram introduzidas e testadas para as condições do estado de São Paulo, onde tiveram relativo êxito na produção de feno e grãos (SEDIYAMA; SILVA; BOREM, 2015).

Em 1900, a soja foi testada no Rio Grande do Sul (RS - latitude entre 28°S a 34°S), onde teve sucesso, em razão das condições climáticas serem similares àsquelas predominantes no Sul dos EUA, região de origem dos materiais avaliados. Da mesma maneira que ocorreu nos EUA, durante as décadas de 1920 a 1940, as primeiras cultivares de soja introduzidas no Brasil foram estudadas, mais com o objetivo de avaliar seu potencial como forrageiras, do que como plantas produtoras de grãos para a indústria de farelo e óleo (GAZZONI; DALL'AGNOL, 2018). Em 1941, tem-se a primeira referência de produção comercial de soja no país, mas a cultura permaneceu como cultivo marginal até o final da década de 60, quando começou a ganhar expressão como cultivo comercial, demandando novas tecnologias (DALL'AGNOL, 2011).

Até o final 1960, o melhoramento da soja foi realizado, principalmente, nos estados do Sul do Brasil, onde o cultivo da soja se concentrava. Alguns trabalhos foram realizados também pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) no estado de São Paulo. Cabe ressaltar, que o grande impulso no melhoramento da soja ocorreu a partir dessas pesquisas do IAC. A principal contribuição desta instituição foi a seleção de plantas com período juvenil longo, condição que retarda o florescimento das plantas em dias curtos. A partir de então, com o sucesso obtido na Região Sul, e graças aos investimentos em pesquisas financiadas pelos setores público e privado, e consolidação dos programas de melhoramento de plantas, a cultura ganhou notoriedade e pôde avançar rumo ao Norte do país (SEDIYAMA; SILVA; BOREM, 2015).

Em Minas Gerais, as primeiras referências de trabalhos de pesquisa com cultivares de soja introduzidas dos EUA remontam a 1930. Estudos mais detalhados sobre o comportamento das cultivares foram iniciados em 1956/57, na Universidade Federal de Viçosa (UFV). O início do melhoramento de soja no estado ocorreu em 1963, na UFV, por meio de uma parceria entre UFV e a *Purdue University* (EUA). Em 1965, as primeiras hibridizações foram realizadas e, posteriormente, foram lançadas as duas primeiras cultivares desenvolvidas em Minas Gerais, denominadas Viçoja e Mineira (SILVA et al., 2017).

Até a década de 80, as empresas públicas e privadas nacionais ainda eram as principais responsáveis pelo melhoramento de soja e transferência de tecnologia para todo o mercado interno. Contudo, a partir da década de 90, com o processo de globalização, houveram grandes mudanças no setor agrícola. Além disso, com a aprovação da Lei de Proteção de Cultivares (Lei nº 9.456 de 1997) criou-se um ambiente de estímulo à pesquisa e ao desenvolvimento de novas cultivares. Em consequência disso, as empresas multinacionais se tornaram as principais empresas de melhoramento de soja do país (SILVA et al., 2017).

A Monsanto iniciou suas atividades de melhoramento de soja no Brasil, em 1996, com cultivares convencionais, e, a partir de 2005, desenvolveu as primeiras cultivares geneticamente modificadas (GM). Depois, outras empresas como a Pioneer, Syngenta, BASF, Bayer e Dow, também iniciaram seus programas de melhoramento de soja (SEDIYAMA; SILVA; BOREM, 2015). Muitas dessas empresas, devido a importância do mercado da soja no Brasil e a possibilidade de ter maiores ganhos financeiros via *royalties*, têm feito investimentos no setor de biotecnologia para o desenvolvimento de cultivares transgênicas (SILVA et al., 2017). Atualmente, há 19 eventos transgênicos aprovados para a cultura da

soja no Brasil (ISAAA, 2019). Também conta-se com 979 cultivares protegidas e 2.115 cultivares de soja registradas no Registro Nacional de Cultivares (RNC) (MAPA, 2019a; 2019b).

2.2 Melhoramento genético da soja para qualidade de grãos

Os programas de melhoramento de soja que trabalham com o melhoramento da qualidade de óleo se concentram em dois objetivos gerais: aumentar o teor total de óleo e modificar a constituição de ácidos graxos do óleo (COBER et al., 2009). Os programas de melhoramento de soja que trabalham com o melhoramento da qualidade de proteína têm como objetivos: aumentar o teor total de proteína e modificar a composição dos aminoácidos da proteína (JUHÁSZ; CIABOTTI; TEIXEIRA, 2017).

A composição química do grão de soja é formada por proteínas (\cong 40%), carboidratos (\cong 30%), lipídios (\cong 23%), fibras (\cong 6%), cinzas, minerais e vitaminas. De acordo com os efeitos ambientais, genéticos e de interação, essa composição pode ser alterada. Um dos principais objetivos dos programas de melhoramento de soja é aumentar os teores de alguns desses compostos químicos, em especial os teores de óleo e proteína (JUHÁSZ; CIABOTTI; TEIXEIRA, 2017).

Juntamente com a alta produtividade, os altos teores de óleo e proteína encontrados nos grãos da soja são considerados os principais caracteres que fazem com que a soja seja considerada uma das *commodities* agrícolas de maior sucesso, sendo uma das culturas de maior relevância no mercado internacional (GESTEIRA et al., 2018).

Do ponto de vista nutricional, a soja contém componentes essenciais para a alimentação humana. A fração de óleo do grão constitui-se em boa fonte de energia e ácidos graxos essenciais, sendo constituído, basicamente, por cinco ácidos graxos principais: 11% de ácido palmítico, 4% de ácido esteárico, 25% de ácido oleico, 52% de ácido linoleico e 8% de ácido linolênico (GRAEF et al., 2009). Em relação à fração proteica, a soja é considerada uma boa fonte de aminoácidos essenciais, como lisina e leucina (PIRES et al., 2006). Além de seu valor nutricional, a soja tem sido reconhecida por possuir compostos com propriedades nutracêuticas, como isoflavonas, saponinas e tocoferóis (RAJCAN; HOU; WEIR, 2005).

O uso e valor do óleo de soja são determinados, principalmente, por sua constituição de ácidos graxos, que afeta as propriedades físicas, químicas e nutricionais do mesmo. O

controle genético da constituição de ácidos graxos tem sido estudado em soja, utilizando tanto a variação natural de ácidos graxos como mutações. O conhecimento gerado tem sido utilizado para auxiliar no desenvolvimento de novas cultivares e, conseqüentemente, de novos óleos de soja com composição de ácidos graxos mais adequada para os diferentes usos, tanto industriais quanto para a produção de alimentos (JUHÁSZ; CIABOTTI; TEIXEIRA, 2017).

O aumento do conteúdo total de proteína na soja tem sido feito, principalmente, pelo melhoramento clássico, sem dar muita importância aos aminoácidos envolvidos, enquanto o aumento dos aminoácidos tem sido feito tanto por melhoramento clássico como por técnicas de engenharia genética (JUHÁSZ; CIABOTTI; TEIXEIRA, 2017).

A obtenção de novos genótipos de soja com maiores teores de óleo e proteína é possível, porém, vale destacar que, a correlação entre os teores de óleo e proteína é negativa e de alta magnitude (BONATO et al., 2000; GESTEIRA et al., 2018; MORAES et al., 2006; RODRIGUES et al., 2010; ROGERS et al., 2015). Essa associação negativa implica que os melhoristas devem adotar estratégias de seleção para contornar esse desafio, e assim, desenvolver cultivares produtivas que associem altos teores de óleo e proteína. Uma alternativa eficiente é o emprego de índices de seleção que permitem combinar as múltiplas informações dos caracteres mensurados no indivíduo/progênie, de modo que seja possível a seleção fundamentada em um único valor, envolvendo todos os demais.

Embora a seleção recorrente tenha sido pouco aplicada em plantas autógamas, a mesma pode ser utilizada nos programas de melhoramento, como estratégia para aumentar os teores de óleo e proteína da soja, uma vez que essas características são quantitativas e com a maioria dos locos com efeitos aditivos.

2.3 Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos para qualidade de grãos

As estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos, como variância, herdabilidade, correlação e ganho com a seleção, têm grande importância nos programas de melhoramento, uma vez que orientam a tomada de decisões relacionadas à escolha do método de melhoramento mais apropriado, bem como aos caracteres a serem selecionados nas etapas iniciais e avançadas do programa de melhoramento (CRUZ, 2005). Essas estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos são obtidas por meio de experimentos devidamente delineados e repetidos em diferentes locais e anos quando necessário.

Para que se tenha sucesso no melhoramento genético de qualquer caráter, é necessário que este seja herdável e que haja variação genética na população na qual se pratica seleção. Sendo o fenótipo do indivíduo uma característica ligada ao fator genético, ao ambiente e à interação desses fatores, variações do fenótipo são resultantes das variações decorrentes desses fatores. Assim, tem-se que a variância fenotípica (σ_F^2) é igual a soma das variâncias genotípica (σ_G^2), ambiental (σ_E^2) e da interação genótipos x ambientes ($\sigma_{G \times E}^2$) (RAMALHO et al., 2012).

A herdabilidade (h^2) é um dos parâmetros genéticos mais importantes para os programas de melhoramento genético, tendo em vista que ela estima a confiabilidade do valor fenotípico como indicador do valor do genotípico (RAMALHO et al., 2012). Assim, para caracteres com elevada h^2 , a seleção nas gerações iniciais de autofecundação é bastante eficiente, em contrapartida, a seleção para caracteres com baixa herdabilidade deve ser praticada em gerações mais avançadas, quando se tem aumento da h^2 no sentido restrito (FEHR, 1987). Além disso, a h^2 está relacionada com a predição de ganho dos diferentes métodos de melhoramento, e é sempre utilizada pelos melhoristas para tomar decisões quanto a condução dos programas de seleção (RAMALHO et al., 2012).

É importante comentar também, que a h^2 pode ser obtida no sentido amplo (h_a^2), onde considera-se toda a variância genética, ou no sentido restrito (h_r^2), onde considera-se apenas a variância genética aditiva, ou seja, a variância associada ao valor reprodutivo, e que é fixada pela seleção. A herdabilidade no sentido restrito é mais desejada pelos melhoristas, principalmente no melhoramento de plantas autógamas, pois através dela é possível quantificar a importância relativa da proporção aditiva da variância genética, que pode ser transmitida para a próxima geração. Já a herdabilidade no sentido amplo, assume maior importância quando se trabalha com culturas de propagação vegetativa, em que o genótipo é transmitido integralmente pelos descendentes (VAL, 2014).

A possibilidade de predição dos ganhos obtidos por uma determinada estratégia de seleção constitui-se em uma das principais contribuições da Genética Quantitativa para o melhoramento. A estimativa do ganho com a seleção possibilita aos melhoristas buscarem alternativas para melhorar a eficiência do processo de melhoramento antes da seleção. É influenciada, direta ou indiretamente, pela proporção de seleção, propriedades genéticas da população e condições ambientais (RAMALHO et al., 2012).

A correlação é um parâmetro estatístico que mede o grau de associação entre duas variáveis, podendo ser positiva, quando os caracteres variam na mesma direção, ou negativa, quando os caracteres variam em direções opostas (RAMALHO et al., 2012). Assim, se um caráter de interesse, porém, de baixa herdabilidade, estiver correlacionado a um segundo caráter de alta herdabilidade, é possível a obtenção de progressos mais rápidos no programa de melhoramento por meio da seleção indireta (CRUZ; REGAZZI, 1994).

Na Tabela 1 estão apresentadas as estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos relativas aos caracteres produtividade de grãos e aos teores de óleo e proteína na cultura da soja.

Tabela 1 – Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos relativos aos caracteres produtividade de grãos (Prod.), teor de óleo (Óleo) e teor de proteína (Proteína) na cultura da soja.

Parâmetros ^{1/}	Caracteres			Referências	
	Prod.	Óleo	Proteína		
$h^2(\%)$		23,00		Farias Neto e Vello (2001)	
			71,61	Rodrigues et al. (2010)	
		83,50	79,40	Bueno et al. (2013)	
		22,13 ^{2/}	69,63 ^{2/}	68,39 ^{2/}	Pinheiro et al. (2013)
		36,45 ^{3/}	83,93 ^{3/}	87,17 ^{3/}	
			81,47	80,75	Chandrawat et al. (2017)
		67,21 ^{4/}	77,74 ^{4/}		Val et al. (2017)
σ_G^2		94,00	97,00	Lee et al. (2019)	
			1,80	Farias Neto e Vello (2001)	
			0,47	1,56	Rodrigues et al. (2010)
			4,58	13,45	Chandrawat et al. (2017)
		693.248,20 ^{4/}	0,70 ^{4/}		Val et al. (2017)
$GS(\%)$			1,71	3,21	Lee et al. (2019)
			1,51		Farias Neto e Vello (2001)
		5,40 ^{2/}	3,70 ^{2/}	2,90 ^{2/}	
		6,40 ^{3/}	5,40 ^{3/}	4,60 ^{3/}	Pinheiro et al. (2013)
			3,59	6,10	Chandrawat et al. (2017)
	19,40 ^{4/}	32,15 ^{4/}		Val et al. (2017)	

^{1/} – as estimativas dos parâmetros se referem a dados populacionais; ^{2/} – safra 2010/11; ^{3/} – safra 2011/12; ^{4/} – experimento I.

Fonte: Do autor (2019).

Observa-se que há variação na magnitude das estimativas da herdabilidade, bem como das estimativas de variância genética para todos os caracteres avaliados. Pode-se verificar também, a complexidade genética dos caracteres avaliados e a influência dos fatores

ambientais na expressão dos mesmos. Quanto ao ganho estimado com a seleção, observa-se que o mesmo é dependente do caráter.

2.4 Interação genótipos x ambientes na cultura da soja

O fenótipo (F) de um indivíduo é obtido pelo resultado da ação do genótipo (G), que se refere à constituição genética, isto é, aos diferentes alelos que afetam o caráter, mais a ação do ambiente (A), que são todos os fatores que interferem na expressão do caráter, exceto o genótipo (RAMALHO et al., 2012). As respostas dos genótipos em relação à variação dos ambientes podem ser classificadas em previsíveis e imprevisíveis. As respostas previsíveis incluem as causas permanentes do ambiente, como as características gerais do clima, constituição química e física do solo, assim como aspectos do ambiente controlados pelo homem, como época e densidade de semeadura, método de preparo do solo e colheita, dentre outros. As respostas imprevisíveis incluem variáveis do ambiente, tais como quantidade e distribuição de chuvas, diferenças na temperatura e outros fatores climáticos imprevisíveis (ALLARD; BRADSHAW, 1964).

Se avaliarmos dois ou mais genótipos em dois ou mais ambientes, a manifestação fenotípica será influenciada por um terceiro componente, a interação dos genótipos por ambientes (G x A) (RAMALHO et al., 2012). Esse componente é caracterizado pelo comportamento não coincidente dos genótipos frente às variações ambientais, tais como: fotoperíodo, latitude, altitude, temperatura, umidade, fertilidade do solo, dentre outras. Apesar de complicar o trabalho dos melhoristas de plantas, a interação G x A não deve ser encarada como um fator indesejável, mas como um fenômeno biológico natural que deve ser melhor aproveitado e estudado (CHAVES, 2001). O estudo dessa interação permite maior êxito dos programas de melhoramento na seleção de indivíduos superiores, uma vez que a interação G x A, pode inflacionar as estimativas de variância genética, resultando em superestimativas dos ganhos genéticos esperados com a seleção (DUARTE; VENCOVSKY, 1999).

A ocorrência da interação G x A é inerente a cada cultivar em decorrência de fatores fisiológicos e bioquímicos. Em termos genéticos, a interação ocorre quando a contribuição ou o nível de expressão dos genes que controlam o caráter diferem entre os ambientes devido a influência dos fatores ambientais na expressão dos genes (KANG, 1998; RAMALHO et al., 2012).

Tendo em vista que a cultura da soja pode ser cultivada em um grande número de ambientes distintos, a caracterização da interação G x A é de suma importância. Além de determinar a correlação entre o genótipo e o fenótipo dos indivíduos, a interação G x A é essencial para a recomendação de cultivares de acordo com os tipos de ambientes existentes (PRADO et al., 2001). A condução de experimentos em vários ambientes (locais e anos agrícolas) permite a avaliação da magnitude e do tipo de interação G x A existente, implicando em mudanças no esquema básico de condução dos programas de melhoramento (SILVA; DUARTE, 2006). A magnitude da interação G x A pode influenciar no processo de seleção, por alterar a herdabilidade e, conseqüentemente, o ganho com a seleção. Já o tipo da interação pode modificar a estratégia de seleção e a recomendação das cultivares (GESTEIRA et al., 2018).

Diante da presença da interação G x A são possíveis três estratégias para atenuar o efeito dessa interação: identificar cultivares específicas para cada ambiente; promover o zoneamento agrícola ou estratificação de ambientes em regiões cujos efeitos da interação sejam minimizados e; identificar cultivares com maior adaptabilidade e estabilidade fenotípica (RAMALHO et al., 2012).

A interação G x A é importante para se estabelecer estratégias para a recomendação de cultivares de acordo com as condições ambientes existentes, e pode ser do tipo simples ou complexa. A mesma é considerada simples quando não há mudanças no *ranking* dos genótipos nos diferentes ambientes estudados, ou seja, os genótipos se adaptam a uma ampla faixa de ambientes, podendo sua recomendação ser de forma mais generalizada. Já a interação do tipo complexa provoca mudanças no *ranking* dos genótipos nos ambientes estudados, ou seja, os genótipos exibem adaptação a ambientes específicos e, por isso, a recomendação é mais limitada. Cabe ressaltar, que a interação do tipo complexa é uma das responsáveis pela necessidade de se ter programas regionalizados de melhoramento genético, bem como da existência do zoneamento agrícola para recomendação de cultivares.

O desenvolvimento de cultivares com altas produtividades de grãos, bem como com teores de óleo e/ou proteína significativamente maiores, é um dos principais objetivos dos programas de melhoramento genético de soja. Na literatura, há relatos do efeito da interação G x A sobre esses caracteres na cultura da soja (ARSLANOGLU; AYTAC; ONER, 2011; BUENO et al., 2013; GESTEIRA et al., 2018; MARQUES et al., 2011; ROCHA et al., 2002; SILVA et al., 2016; SUDARIĆ; ŠIMIĆ; VRATARIĆ, 2006).

Segundo Rangel et al. (2004), os teores de óleo e proteína dos grãos de soja são controlados geneticamente, porém, são fortemente influenciados pelo ambiente, principalmente durante o período de enchimento dos grãos. Sedyama et al. (1993) observaram que sementes desenvolvidas em temperaturas de 21 °C apresentaram teor de óleo de 19,5%, enquanto aquelas desenvolvidas a 30 °C apresentaram 22,3% de óleo, demonstrando que o teor de óleo na cultura da soja depende da temperatura durante o desenvolvimento da vagem. Corroborando com esse resultado, Albrecht et al. (2008) observaram que temperaturas médias mais elevadas no período reprodutivo da cultura da soja favoreceram o acúmulo de óleo nos grãos, e que restrições hídricas elevaram os teores de proteínas. Esses trabalhos evidenciam a importância de se estudar o comportamento dos genótipos quando cultivados em diferentes locais, anos agrícolas ou condições de cultivo.

À medida que tais interações são esclarecidas por meio de estudos, estratégias mais eficientes de melhoramento podem ser utilizadas para a obtenção de cultivares mais produtivas e com altos teores de óleo e proteína nos grãos.

REFERÊNCIAS

- ALBRECHT, L. P. et al. Teores de óleo, proteínas e produtividade de soja em função da antecipação da semeadura na região oeste do Paraná. **Bragantia**, v. 67, p. 865-873, 2008.
- ALLARD, R. W.; BRADSHAW, A. D. Implications of genotype-environment interactions in applied plant breeding. **Crop Science**, v. 4, n. 5, p. 503-508, 1964.
- ARSLANOGLU, F.; AYTAC, S.; ONER, E. K. Effect of genotype and environment interaction on oil and protein content of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) seed. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 80, p. 18409-18417, 2011.
- BIANCHI, M. C. **Implicações da interação genótipos por ambientes na seleção de progênies de soja**. 2018. 63 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.
- BONATO, E. R. et al. Teor de óleo e de proteína em genótipos de soja desenvolvidos após 1990. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 12, p. 2391-2398, 2000.
- BUENO, R. et al. Genetic parameters and genotype x environment interaction for productivity, oil and protein content in soybean. **African Journal of Agricultural Research**, v. 8, n. 38, p. 4853-4859, 2013.
- CHANDRAWAT, K. S. et al. Study on genetic variability, heritability and genetic advance in soybean. **International Journal of Pure and Applied Bioscience**, v. 5, n. 1, p. 57-63, 2017.
- CHAVES, L. J. Interação de genótipos com ambientes. In: NASS, L. L. et al (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento: plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. Cap. 22. p. 673-713.
- COBER, E. R. et al. Soybean. In: VOLLMANN, J.; RAJCAN, I. (Ed.). **Oil crops**. London, NY: Springer Science, 2009. V. 4.
- CRUZ, C. D. **Princípios de genética quantitativa**. Viçosa: UFV, 2005. 394 p.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Imprensa Universitária da UFV, 1994. 390 p.
- DALL'AGNOL, A. **A soja no Brasil: evolução, causas, impactos e perspectivas**, 2011. Disponível em: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/47515/1/amelio soja.2011.pdf> >. Acesso em: 01 ago. 2019.
- DUARTE, J. B.; VENCOSKY, R. **Interação genótipos x ambientes: uma introdução à análise AMMI**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1999. 60 p. (Série Monografias, 9).

FARIAS NETO, J. T. D.; VELLO, N. A. Avaliação de progênies F4:3 e F5:3 e estimativas de parâmetros genéticos com ênfase para porcentagem de óleo, produtividade de grãos e óleo em soja. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 25, n. 4, p. 812-820, 2001.

FEHR, W. R. **Principles of cultivar development - theory and technique**. New York, USA: Macmillan Publishing Company, 1987. 536 p.

FIESP. **Balança comercial do agronegócio, julho de 2019**. Disponível em: < <https://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/balanca-comercial/> >. Acesso em: 27 jul. 2019.

GAZZONI, D. L.; DALL'AGNOL, A. Cenário. In: CESB (Ed.). **Soja: quebrando recordes**. Brasil: Comitê Estratégico Soja Brasil (CESB), 2018. p. 34-59.

GESTEIRA, G. S. et al. Selection of Early Soybean Inbred Lines Using Multiple Indices. **Crop Science**, v. 58, n. 6, p. 2494-2502, 2018.

GRAEF, G. et al. A high-oleic-acid and low-palmitic-acid soybean: agronomic performance and evaluation as a feedstock for biodiesel. **Plant Biotechnol J**, v. 7, n. 5, p. 411-21, 2009.

HYMOWITZ, T. Speciation and cytogenetics. In: ROGER BOERMA, H. et al. (Ed.). **Soybeans: improvement, production and uses**. 3rd ed. Madison: American Society of Agronomy, 2004. p. 97-136.

ISAAA. International Service for the Acquisition of Agri-Botech Applications. **GM Approval Database, 2019**. Disponível em: < <http://www.isaaa.org/gmapprovaldatabase/> >. Acesso em: 02 ago. 2019.

JUHÁSZ, A. C. P.; CIABOTTI, S.; TEIXEIRA, L. C. A. A. Breeding for nutritional quality. In: LOPES DA SILVA, F. et al. (Ed.). **Soybean breeding**: Springer International Publishing, 2017. p. 375-393.

KANG, M. S. Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. In: SPARKS, D. L. (Ed.). **Advances in agronomy**. Delaware: Academic, 1998. p. 199-252.

LEE, S. et al. Genome-wide association study of seed protein, oil and amino acid contents in soybean from maturity groups I to IV. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 132, n. 6, p. 1639-1659, 2019.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Registro Nacional de Cultivares - RNC**, Brasília, DF, 2019a. Disponível em: < http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php >. Acesso em: 27 jul. 2019.

_____. **Serviço Nacional de Proteção De Cultivares - SNPC**, Brasília, DF, 2019b. Disponível em: < http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_protegidas.php >. Acesso em: 27 jul. 2019.

MARQUES, M. C. et al. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja em diferentes épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 1, p. 59-69, 2011.

MORAES, R. M. A. D. et al. Caracterização bioquímica de linhagens de soja com alto teor de proteína. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 5, p. 715-729, 2006.

PATIL, G. et al. Dissecting genomic hotspots underlying seed protein, oil, and sucrose content in an interspecific mapping population of soybean using high-density linkage mapping. **Plant Biotechnology Journal** v. 16, n. 11, p. 1939-1953, 2018.

PEREIRA, D. R. **Interação genótipos x ambientes e implicações na associação entre caracteres em soja**. 2017. 64 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

PINHEIRO, L. C. D. M. et al. Parentesco na seleção para produtividade e teores de óleo e proteína em soja via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 1246-1253, 2013.

PIRES, C. V. et al. Qualidade nutricional e escore químico de aminoácidos de diferentes fontes protéicas. **Food Science and Technology**, v. 26, p. 179-187, 2006.

PRADO, E. E. et al. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em cinco épocas de plantio no cerrado de Rondônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 625-635, 2001.

RAJCAN, I.; HOU, G.; WEIR, A. D. Advances in breeding of seed-quality traits in soybean. **Journal of Crop Improvement**, v. 14, n. 1-2, p. 145-174, 2005.

RAMALHO, M. A. P. et al. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: UFLA, 2012. 522 p.

RANGEL, M. A. S. et al. **Efeito do genótipo e do ambiente sobre os teores de óleo e proteína nos grãos de soja, em quatro ambientes da Região Sul de Mato Grosso do Sul, safra 2002/2003**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2004. 20 p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 17).

ROCHA, M. D. M. et al. Estabilidade e adaptabilidade produtiva em linhagens de soja de ciclo médio. **Revista Ceres**, v. 56, n. 6, p. 764-771, 2009.

ROCHA, M. D. M. et al. Magnitude da interação genótipos x ambientes para o caráter teor de óleo em linhagens de soja. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 6, n. 3, p. 617-625, 2002.

RODRIGUES, J. I. D. S. et al. Mapeamento de QTL para conteúdos de proteína e óleo em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 5, p. 472-480, 2010.

ROGERS, J. et al. Agronomic performance and genetic progress of selected historical soybean varieties in the southern USA. **Plant Breeding**, v. 134, n. 1, p. 85-93, 2015.

SEDIYAMA, T. et al. **Cultura da soja**. Parte I. Viçosa: UFV, 1993. 97 p.

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

SEDIYAMA, T.; TEXEIRA, R. C.; REIS, M. S. Melhoramento da soja. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2 ed. Viçosa: UFV, 2005. p. 553-604.

SILVA, F. C. S. et al. Economic importance and evolution of breeding. In: LOPES DA SILVA, F. et al. (Ed.). **Soybean breeding**: Springer International Publishing, 2017.

SILVA, K. B. et al. Adaptability and phenotypic stability of soybean cultivars for grain yield and oil content. **Genetics and Molecular Research**, v. 15, n. 2, p. 1-11, 2016.

SILVA, W. C. J.; DUARTE, J. B. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 23-30, 2006.

SUDARIĆ, A.; ŠIMIC, D.; VRATARIĆ, M. Characterization of genotype by environment interactions in soybean breeding programmes of southeast Europe. **Plant Breeding**, v. 125, n. 2, p. 191-194, 2006.

VAL, B. H. P. **Estimativas de parâmetros genéticos em linhagens avançadas de soja**. 2014. 68 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2014.

VAL, B. H. P. et al. Identification of superior soybean lines by assessing genetic parameters and path analysis of grain yield components. **African Journal of Biotechnology**, v. 16, n. 8, p. 328-336, 2017.

VASCONCELOS, E. S. et al. Adaptability and stability of semilate and late maturing soybean genotypes in Minas Gerais state. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, p. 411-415, 2010.

VON PINHO, I. V. **A interação dos genótipos x ambientes na cultura da soja e o risco na recomendação de novas linhagens**. 2016. 133 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Planta)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

CAPÍTULO 2 **É POSSÍVEL TER SUCESSO COM A SELEÇÃO PARA PRODUTIVIDADE E TEORES DE ÓLEO E PROTEÍNA NOS GRÃOS EM SOJA?**

RESUMO

A obtenção de estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos é importante para se maximizar o sucesso de um programa de melhoramento, pois estas auxiliam na tomada de decisão do melhorista e na seleção de genótipos superiores. Do exposto, objetivou-se avaliar o desempenho agrônômico e a qualidade de grãos de progênies de soja, bem como estimar parâmetros genéticos e fenotípicos associados à produtividade de grãos, teor de óleo e teor de proteína. Foram avaliadas progênies $S_{0:1}$, $S_{0:2}$ e $S_{0:3}$ nas safras 2015/2016, no município de Lavras, 2016/2017, nos municípios de Lavras, Itutinga e Nazareno, e 2017/2018, nos municípios de Lavras, Itutinga e Ijaci. Foram avaliados os caracteres produtividade de grãos, teor de óleo e teor de proteína. Os dados foram analisados usando a abordagem de modelos mistos. Foram estimados os parâmetros genéticos e fenotípicos, ganho esperado e realizado com a seleção, correlação genética, resposta correlacionada, além da distribuição de frequência das médias ajustadas. É possível ter sucesso com a seleção para produtividade e teores de óleo e proteína nos grãos em soja, uma vez que a progênie 58 apresentou bom desempenho em produtividade e qualidade de grãos (altos teores de óleo e proteína). Existe influência da interação $G \times A$ nas estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos associados aos caracteres produtividade de grãos e aos teores de óleo e proteína em soja. Recomenda-se a utilização de índices de seleção para a identificação e seleção de genótipos que associem bom desempenho em produtividade de grãos e altos teores de óleo e proteína nos grãos.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) Merrill. Parâmetros genéticos e fenotípicos. Qualidade de grãos.

ABSTRACT

To estimate genetic and phenotypic parameters is an important tool aiming maximizing the success of a breeding program, since it helps the breeder on making decision and genotypes selection processes. Therefore, the objectives of this study were to evaluate the agronomic performance and grain quality of soybean progenies, as well as to estimate genetic and phenotypic parameters associated to grain yield, grain oil and protein content. S_{0:1}, S_{0:2} and S_{0:3} progenies were evaluated during 2015/2016, in Lavras site, 2016/2017, in Lavras, Itutinga and Nazareno site, and 2017/2018 in Lavras, Itutinga and Ijaci site, respectively. Data of grain yield, grain oil and protein content were collected and analyzed by using mixed model approach. Genetic and phenotypic parameters, expected and realized genetic gain with selection, genetic correlation, correlation-response, and frequency distribution of adjusted means were estimated. Progeny 58 performed well for both grain yield and grain quality (high oil and protein content), shown that is possible to be successful with progenies selection for all three traits. There were observed a significant influence of genotype-by-environment interaction on the estimates of genetic and phenotypic parameters for the evaluated traits. Selection indices are recommended for the identification and selection of genotypes that associate good grain yield performance, high oil and high protein content in the grain.

Keywords: *Glycine max* (L.) Merrill. Genetic and phenotypic parameters. Grain quality.

1 INTRODUÇÃO

A soja é a cultura mais cultivada do agronegócio brasileiro, com uma área expressivamente superior às alcançadas pelas demais *commodities*. A expansão territorial contínua da cultura fez a sua produção crescer mais de 20% da safra 2015/2016 à 2017/2018 (USDA, 2019). A soja é uma das culturas mais importantes do agronegócio mundial, se destacando como a *commodity* de maior relevância no mercado internacional. O sucesso da cultura da soja é atribuído, principalmente, aos altos teores de óleo (18% a 22%) e proteína (38% a 42%) (PATIL et al., 2018), além da produtividade de grãos satisfatória para uma ampla diversidade de ambientes. Essas características tornam a soja uma excelente fonte de matéria-prima para a produção de rações, extração de óleos, produção de biodiesel, além de apresentar substâncias com propriedades cosméticas, nutricionais e farmacêuticas (GESTEIRA et al., 2018).

O sucesso do melhoramento genético de qualquer espécie depende da variabilidade genética existente para os caracteres que se deseja selecionar. Esta variabilidade pode ser mensurada por meio das estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos, como herdabilidade, coeficientes de correlação fenotípica, genotípica e ambiental, variância genotípica e fenotípica, dentre outros. A estimação desses parâmetros é importante para potencializar os ganhos em um programa de melhoramento, uma vez que, os mesmos auxiliam os melhoristas nas tomadas de decisão quanto à condução e seleção das populações segregantes.

Estimativas desses parâmetros associados aos caracteres produtividade de grãos, teor de óleo e teor de proteína vêm sendo empregadas na cultura da soja (ALI et al., 2016; BUENO et al., 2013; CHANDRAWAT et al., 2017; FARIAS NETO; VELLO, 2001; VAL et al., 2017). Muito embora os relatos mencionados anteriormente tenham evidenciado a existência de variabilidade e ganhos com a seleção, é oportuno enfatizar que não se quantificou se é possível selecionar genótipos que associem produtividade e qualidade de grãos simultaneamente.

Do exposto, objetivou-se avaliar o desempenho agrônômico e a qualidade de grãos de progênies de soja, estimar parâmetros genéticos e fenotípicos associados à produtividade de grãos, teor de óleo e teor de proteína e quantificar o efeito da seleção na produtividade de grãos para os teores de óleo e proteína nos grãos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Tratamentos genéticos e ambientes experimentais

Foram utilizadas progênies segregantes S_{0:1}, S_{0:2} e S_{0:3} oriundas de cruzamentos entre as seguintes linhagens: CD 250 RR, TMG 7161 RR, CD 237 RR, M 7908 RR, CD 2630 RR, CD 215 RR, 5G 830 RR, BRS FAVORITA RR, V-TOP RR, NK 7074 RR, NA 5909 RG, BMX Força RR e 5D 690 RR. A escolha dos parentais foi realizada considerando o desempenho das cultivares na região Sul do Minas Gerais, assim, foram selecionadas cultivares com bom desempenho agrônomo para a região. As características de todos os parentais utilizados estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Relação das cultivares de soja e suas respectivas informações de grupo de maturação (GM), hábito de crescimento (HC), empresa mantenedora do material genético e teores médios de óleo e proteína.

Cultivares	GM	HC	Empresa mantenedora	Óleo (%)	Proteína (%)
5D 690 RR	6.9	Indeterminado	Coodetec ^{1/}	22,37	36,49
5G 830 RR	8.3	Determinado	Coodetec	22,36	36,33
BMX Força RR	6.2	Indeterminado	GDM Genética do Brasil S.A.	22,00	38,22
BRS FAVORITA RR	7.9	Determinado	Embrapa ^{2/}	21,74	37,49
CD 215 RR	5.5	Indeterminado	Coodetec	22,25	36,83
CD 237 RR	7.3	Determinado	Coodetec	22,64	37,20
CD 250 RR	5.5	Indeterminado	Coodetec	21,62	38,74
CD 2630 RR	6.3	Indeterminado	Coodetec	22,17	36,85
M 7908 RR	7.9	Determinado	D&PL Brasil Ltda.	22,13	37,82
NA 5909 RG	5.9	Indeterminado	Nidera Seeds Brasil Ltda.	22,04	37,53
NK 7074 RR	7.4	Determinado	Syngenta Ltda.	21,97	38,42
TMG 7161 RR	5.9	Indeterminado	TMG ^{3/}	22,49	37,18
V-TOP RR	5.9	Indeterminado	Syngenta Ltda.	22,31	37,31

^{1/} – Coodetec Desenvolvimento, Produção e Comercialização Agrícola Ltda., Dupont do Brasil S.A. - Divisão Pioneer Sementes; ^{2/} – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; ^{3/} – Tropical Melhoramento & Genética S.A.

Fonte: Do autor (2019).

Os cruzamentos foram realizados em esquema de *top cross* em casa de vegetação na safra de verão 2013/2014. A hibridação manual seguiu o procedimento descrito por Borém (2009). As sementes da geração F_1 foram avançadas na safra de inverno de 2014, em casa de vegetação, adotando duas plantas por vaso. Na safra de verão 2014/2015 a população S_0 foi semeada adotando 28 linhas de 5 metros, considerando 15 sementes/metro como densidade de semeadura. Na maturação fisiológica foram colhidas plantas individuais visando a obtenção das progênes $S_{0.1}$. As plantas foram trilhadas individualmente utilizando debulha manual.

As progênes $S_{0.1}$ foram avaliadas na safra de verão 2015/2016, no município de Lavras, no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária – Fazenda Muquém. Adotou-se parcela experimental de 1 linha de 2 metros com duas repetições, considerando o delineamento de látice simples 12 x 12 (131 progênes + 13 parentais). Foram selecionadas 51 progênes superiores para a avaliação na geração $S_{0.2}$.

As progênes $S_{0.2}$ foram avaliadas na safra de verão 2016/2017, no município de Lavras, no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária – Fazenda Muquém, no município de Itutinga, na Fazenda Milanez, e no município de Nazareno, na Fazenda Grupo G7. Adotou-se látice triplo 8 x 8 (51 progênes + 13 parentais) com 1 linha de 3 metros de comprimento como parcela experimental. As 12 progênes superiores foram selecionadas para a avaliação na geração $S_{0.3}$.

As progênes $S_{0.3}$ foram avaliadas na safra de verão 2017/2018, no município de Lavras, no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária – Fazenda Muquém, no município de Itutinga, na Fazenda Milanez, e no município de Ijaci no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária – Fazenda Palmital. Adotou-se látice triplo 5 x 5 (12 progênes + 13 linhas parentais) com 2 linhas de 3 metros de comprimento como parcela experimental.

As características dos locais, como altitude, latitude e longitude estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização dos locais de avaliação de acordo com as variáveis altitude, latitude e longitude.

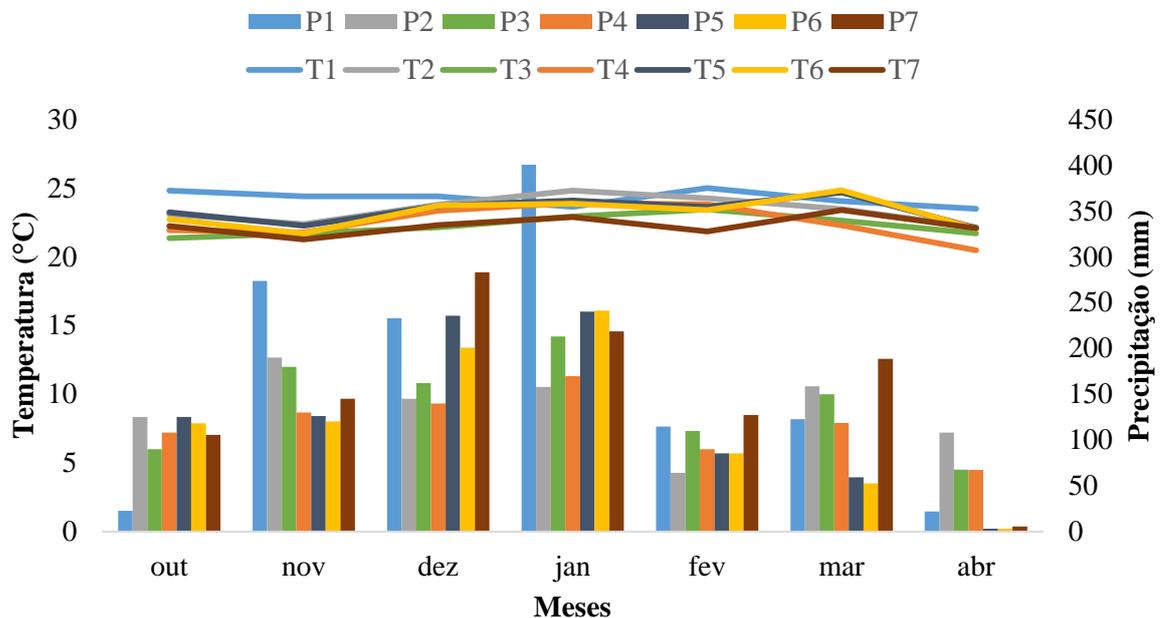
Local	Altitude (m)	Latitude	Longitude
Lavras	918	21°14'43'' S	49°59'59'' W
Itutinga	969	21°17'52'' S	44°39'28'' W
Nazareno	935	21°12'59'' S	44°36'41'' W
Ijaci	920	21°09' S	44°54' W

Fonte: Do autor (2019).

Os dados climatológicos dos ambientes experimentais estão apresentados na Figura 1 conforme a seguinte descrição:

- a) Lavras 2015/16 corresponde ao ambiente 1, sendo a precipitação do ambiente (P1) e temperatura média (T1);
- b) Lavras 2016/17 corresponde ao ambiente 2, sendo a precipitação do ambiente (P2) e temperatura média (T2);
- c) Nazareno 2016/17 corresponde ao ambiente 3, sendo a precipitação do ambiente (P3) e temperatura média (T3);
- d) Itutinga 2016/17 corresponde ao ambiente 4, sendo a precipitação do ambiente (P4) e temperatura média (T4);
- e) Lavras 2017/18 corresponde ao ambiente 5, sendo a precipitação do ambiente (P5) e temperatura média (T5);
- f) Ijaci 2017/18 corresponde ao ambiente 6, sendo a precipitação do ambiente (P6) e temperatura média (T6);
- g) Itutinga 2017/18 corresponde ao ambiente 7, sendo a precipitação do ambiente (P7) e temperatura média (T7).

Figura 1 – Variações mensais de precipitação e temperatura média no período de outubro a abril nos ambientes avaliados.



Fonte: Do autor (2019), adaptado de Instituto Nacional de Meteorologia – Inmet (2019).

2.2 Condução dos experimentos

Adotou-se para todos os ambientes avaliados, o sistema de plantio direto, com sulcos de semeadura espaçados em 0,50 m. As semeaduras foram realizadas na primeira quinzena do mês de novembro em Lavras (safras 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018), Nazareno (safra 2016/2017) e Ijaci (safra 2017/2018); na segunda quinzena do mês de novembro em Itutinga (safra 2016/2017) e na primeira quinzena de dezembro em Itutinga (safra 2017/2018). A adubação foi realizada via sulco utilizando-se de 350 kg.ha⁻¹ do formulado N-P₂O₅-K₂O (02-30-20).

A inoculação, via sulco de semeadura, foi realizada no momento do plantio. Utilizou-se o inoculante Nitragin Cell Tech HC[®] contendo bactérias *Bradyrhizobium japonicum* – estirpes SEMIA 5079 e 5080 (3x10⁹ UFC/mL), na forma de inoculante líquido, na dose de 18 mL p. c. kg⁻¹ de semente (seis vezes a dose recomendada na inoculação via semente). O volume de calda aplicado foi equivalente a 150 L.ha⁻¹. A semeadura foi realizada manualmente.

Para o controle de pragas, utilizou-se inseticidas com ingredientes ativos Neonicotinoide, Piretroide e Clorpirifós, sendo as aplicações condicionadas à necessidade de

controle das pragas. O controle de plantas daninhas em pós-emergência foi efetuado utilizando glifosato na dosagem de 2 L.ha⁻¹.

Foram avaliados os seguintes caracteres:

- Produtividade de grãos: valor em scs.ha⁻¹ após conversão para 13% de umidade;
- Teores percentuais de óleo e proteína: foram determinados em grãos íntegros pela técnica da Refletância do Infravermelho Próximo (NIR), utilizando-se o equipamento Thermo, modelo Antaris II, segundo Heil (2019).

2.3 Análise estatística dos dados

Os dados foram analisados com auxílio do software R (R CORE TEAM, 2018), via abordagem de modelos mistos (BERNARDO, 2010). Realizou-se a análise de *deviance* conjunta por ano agrícola, e também uma análise de *deviance* total, seguindo o modelo:

$$y_{ijkl} = \mu + p_i + r_{j(l)} + b_{k(jl)} + a_l + (pa)_{il} + e_{ijkl} \quad (1)$$

em que:

y_{ijkl} : observação referente à progênie i , no bloco k dentro da repetição j , no ambiente l ;

μ : constante geral associada a todas as observações;

p_i : efeito aleatório da progênie i , $p_i \sim N(0, \sigma_p^2)$;

$r_{j(l)}$: efeito fixo da repetição j dentro do ambiente l ;

$b_{k(jl)}$: efeito aleatório do bloco k dentro da repetição j no ambiente l , $b_{k(jl)} \sim N(0, \sigma_b^2)$;

a_l : efeito fixo do ambiente l ;

$(pa)_{il}$: efeito aleatório da interação progênies x ambientes, $(pa)_{il} \sim N(0, \sigma_{(pa)}^2)$;

e_{ijkl} : erro experimental aleatório associado à observação y_{ijkl} , $e_{ijkl} \sim N(0, \sigma_e^2)$.

2.4 Estimativa dos componentes genéticos e fenotípicos

Estimou-se os componentes da variância pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML). A precisão experimental foi aferida por meio da estimativa do coeficiente de variação experimental (CV) e da acurácia seletiva ($r_{\hat{g}g}$) (RESENDE; DUARTE, 2007).

A acurácia seletiva foi determinada pelo seguinte estimador (GEZAN; MUNOZ, 2014).

$$r_{\hat{g}g} = \sqrt{1 - \left(\frac{PEV}{\sigma_G^2} \right)} \times 100 \quad (2)$$

em que:

$r_{\hat{g}g}$: acurácia seletiva expressa em porcentagem;

PEV : variância do erro de predição dos BLUP;

σ_G^2 : variância genotípica.

Por seu turno, o coeficiente de variação (CV) foi calculado por:

$$CV = \frac{\sqrt{\sigma_E^2}}{\bar{X}} \times 100 \quad (3)$$

em que:

CV : coeficiente de variação experimental expresso em porcentagem;

σ_E^2 : variância ambiental;

\bar{X} : média fenotípica geral.

As estimativas das herdabilidades (h^2), em nível de progênie, foram obtidas de acordo com o estimador proposto por (PIEPHO; MÖHRING, 2007).

$$\hat{h}^2 = \frac{\sigma_G^2}{\sigma_G^2 + \frac{\sigma_{G \times E}^2}{n} + \frac{\sigma_E^2}{nr}} \times 100 \quad (4)$$

em que:

h^2 : é a herdabilidade, em nível de progênie, expressa em porcentagem;

σ_G^2 : é o componente de variância genética;

$\sigma_{G \times E}^2$: é o componente de variância da interação progênie x ambientes;

σ_E^2 : é o componente de variância ambiental;

n : número de ambientes;

r : é o número de repetições.

Para obter a estimativa da associação entre os caracteres teor de óleo e teor de proteína foi realizada a análise de correlação de Pearson, a 5% de probabilidade, de acordo com a expressão:

$$\hat{r}_{xy} = \frac{Cov_{Gxy}}{\sqrt{\sigma_{Gx}^2 \sigma_{Gy}^2}} \quad (5)$$

em que:

r_{xy} : é a correlação genotípica;

Cov_{Gxy} : estimativa da covariância entre as variáveis X e Y;

$\sigma_{Gx}^2, \sigma_{Gy}^2$: são estimativas das variâncias das variáveis X e Y, respectivamente.

Foram obtidas as estimativas do ganho esperado com a seleção (GS) para todos os caracteres avaliados, considerando-se as proporções de seleção de 5%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30%. Os ganhos esperados com a seleção foram estimados por:

$$GS = \frac{\overline{BLUP's}}{\bar{Y}} \times 100 \quad (6)$$

em que:

GS: ganho esperado com a seleção expresso em porcentagem;

$\overline{BLUP's}$: médias BLUP's das progênie selecionadas;

\bar{Y} : média geral das progênie na geração i ou em todas as gerações.

O ganho realizado (GR) foi estimado para todas as proporções de seleção já mencionadas. Para cada caráter, selecionaram-se os genótipos com as melhores médias BLUP na geração i e verificou-se a sua média na geração j . As estimativas do ganho realizado foram obtidas pelo estimador:

$$GR = \frac{\overline{BLUP' s_{j/i}}}{\bar{Y}_j} \times 100 \quad (7)$$

em que:

GR : ganho realizado expresso em porcentagem;

$\overline{BLUP' s_{j/i}}$: médias BLUP's das progênieis na geração j pela seleção efetuada na geração i ;

\bar{Y}_j : média geral das progênieis na geração j .

Estimou-se a resposta correlacionada (RC) dos caracteres teor de óleo e teor de proteína, considerando-se a seleção realizada como referência ao caráter produtividade de grãos. As estimativas da resposta correlacionada foram obtidas pelo seguinte estimador:

$$RC_{y/y'} = \frac{\overline{BLUP' s_{y/y'}}}{\bar{Y}} \times 100 \quad (8)$$

em que:

RC : resposta correlacionada expressa em porcentagem;

$\overline{BLUP' s_{y/y'}}$: médias BLUP's das progênieis para o caráter y pela seleção efetuada para o caráter y' ;

\bar{Y} : média geral das progênieis para o caráter y .

3 RESULTADOS

As estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos para todos os caracteres avaliados referentes a análise conjunta das progênies S_{0:1}, S_{0:2} e S_{0:3}, de todos os ambientes avaliados, nos anos agrícolas 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018 estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos para os caracteres produtividade de grãos (Prod.), teor de óleo (Óleo) e teor de proteína (Proteína). Dados referentes às progênies S_{0:1}, S_{0:2}, S_{0:3} e parentais nos anos agrícolas 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018.

	Prod. (scs.ha⁻¹)	Óleo (%)	Proteína (%)
$\hat{\sigma}_G^2$	73,23*	0,20*	0,74*
$\hat{\sigma}_{GxA}^2$	68,66*	0,57*	1,09*
$\hat{\sigma}_E^2$	179,98	0,34	0,31
\hat{h}^2 (%)	79,93	68,36	81,49
$r_{\hat{g}g}$ (%)	88,48	82,68	90,27
CV (%)	19,25	2,68	1,49

$\hat{\sigma}_G^2$ – variância genética; $\hat{\sigma}_{GxA}^2$ – variância da interação genótipos x ambientes; $\hat{\sigma}_E^2$ – variância ambiental; \hat{h}^2 – herdabilidade; $r_{\hat{g}g}$ – acurácia; CV – coeficiente de variação; * – significativo a 5% de probabilidade pelo teste de razão de máxima verossimilhança.

Fonte: Do autor (2019).

As estimativas de acurácia foram acima de 80% para todos os caracteres avaliados, variando de 82,48% (teor de óleo) a 90,27% (teor de proteína). Por seu turno, o coeficiente de variação variou de 1,49% (teor de proteína) a 19,25% (produtividade de grãos) (TABELA 3).

A fonte de variação da interação genótipos x ambientes foi significativa para todos os caracteres avaliados (TABELA 3). Depreende-se então, que há comportamento não coincidente entre os genótipos nos ambientes avaliados. As estimativas da variância genética foram significativas para todos os caracteres avaliados, demonstrando a existência de diferenças significativas entre as progênies (TABELA 3). Esse resultado é corroborado quando se observa as estimativas de herdabilidade que variaram de 68,36% (teor de óleo) a 81,49% (teor de proteína) (TABELA 3).

As estimativas conjuntas dos valores máximos, mínimos, médias, e as amplitudes de variação dos caracteres avaliados, bem como as distribuições de frequência, estão

apresentadas na Tabela 4 e Figura 2, respectivamente. As médias BLUP obtidas pela análise conjunta para as progênie e parentais são apresentadas na Tabela 1A.

As amplitudes de variação foram de 28,78 scs.ha⁻¹, 1,45% e 2,55% para os caracteres produtividade de grãos, teor de óleo e teor de proteína, respectivamente. A menor média de produtividade de grãos, 51,01 scs.ha⁻¹, correspondeu a testemunha CD 250 RR (TABELA 1A). Todas as progênie avaliadas apresentaram produtividade de grãos maior que 71 scs.ha⁻¹, sendo a média da progênie 58 superior a média de todos os parentais.

A cultura da soja apresenta de 18% a 22% de óleo e de 38% a 42% de proteína (PATIL et al., 2018). Nesse estudo, as médias obtidas para o caráter teor de óleo variaram de 21,41% a 22,86% (TABELA 4), e, portanto, dentro ou superior ao esperado. Quanto ao caráter teor de proteína as médias variaram de 36,32% a 38,88%, sendo que 66% das progênie avaliadas apresentaram médias superiores a 38% de teor de proteína (TABELA 4).

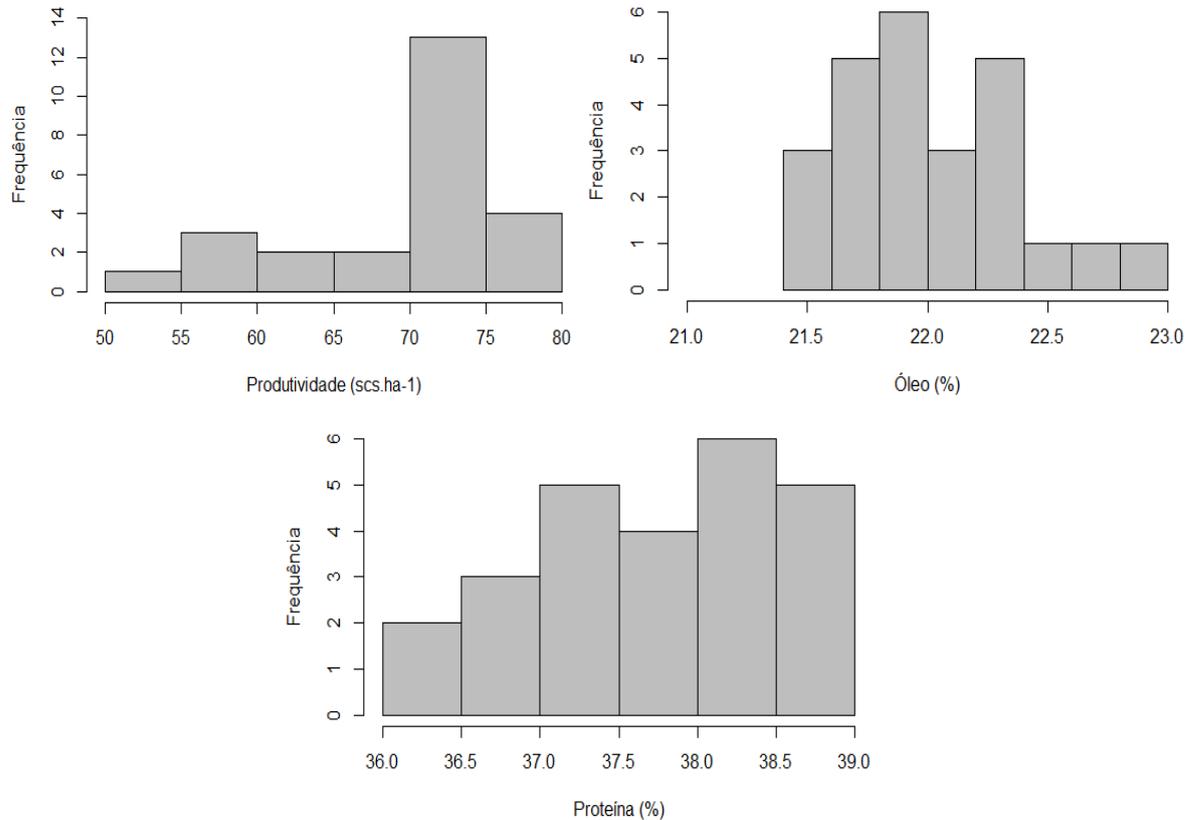
Tabela 4 – Estimativas conjuntas dos valores máximos, mínimos e a amplitude de variação das médias BLUP dos caracteres produtividade de grãos (Prod.), teor de óleo (Óleo) e teor de proteína (Proteína). Dados referentes às progênie S_{0:1}, S_{0:2}, S_{0:3} e parentais nos anos agrícolas 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018.

	Prod. (scs.ha⁻¹)	Óleo (%)	Proteína (%)
Máximo	79,79	22,86	38,88
Mínimo	51,01	21,41	36,32
Média	69,68	22,01	37,76
Amplitude	28,78	1,45	2,55

Fonte: Do autor (2019).

Assim como as estimativas dos componentes de variância, as distribuições de frequência das médias BLUP evidenciam a variabilidade entre as progênie e também denotam a natureza quantitativa dos caracteres devido à distribuição contínua (FIGURA 2).

Figura 2 – Distribuição de frequência para as médias BLUP das progêneses $S_{0:1}$, $S_{0:2}$, $S_{0:3}$ e parentais nos anos agrícolas 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018.



Fonte: Do autor (2019).

A estimativa da correlação genotípica, obtida entre os caracteres teor de óleo e teor de proteína, por meio da análise de correlação de Pearson, a 5% de probabilidade, foi negativa, de alta magnitude e significativa ($r = -0,82$).

As estimativas do ganho esperado com a seleção foram obtidas considerando diferentes proporções de seleção. Cabe ressaltar que para a geração $S_{0:1}$ e $S_{0:2}$, além das estimativas do ganho esperado com a seleção, as estimativas do ganho realizado na seleção foram obtidas para o caráter produtividade de grãos (TABELAS 5 e 6).

As estimativas do ganho esperado e do ganho realizado na seleção das progêneses $S_{0:1}$ estão apresentadas na Tabela 5, as estimativas conjuntas do ganho esperado e do ganho realizado na seleção para a geração $S_{0:2}$ estão apresentadas na Tabela 6, e as estimativas conjuntas do ganho esperado da seleção para a geração $S_{0:3}$ estão apresentadas na Tabela 7. As estimativas conjuntas do ganho esperado com a seleção, considerando as três gerações ($S_{0:1}$, $S_{0:2}$ e $S_{0:3}$), estão apresentadas na Tabela 8.

Tabela 5 – Estimativas do ganho esperado (GE) e do ganho realizado (GR) na seleção para os caracteres produtividade de grãos (Prod.), teor de óleo (Óleo) e teor de proteína (Proteína). Dados referentes às progêneses S_{0:1} no ano agrícola 2015/2016.

PS%	Prod. (scs.ha ⁻¹)		Óleo (%)	Proteína (%)
	GE%	GR%	GE%	GE%
5%	39,57	8,34	2,79	2,87
10%	35,08	4,95	2,25	2,44
15%	31,58	3,90	1,89	2,12
20%	29,31	2,73	1,66	1,91
25%	26,86	2,43	1,47	1,72
30%	23,99	2,46	1,31	1,55

PS – proporção de seleção.

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 6 – Estimativas do ganho esperado (GE) e do ganho realizado (GR) na seleção para os caracteres produtividade de grãos (Prod.), teor de óleo (Óleo) e teor de proteína (Proteína). Dados referentes às progêneses S_{0:2} no ano agrícola 2016/2017.

PS%	Prod. (scs.ha ⁻¹)		Óleo (%)	Proteína (%)
	GE%	GR%	GE%	GE%
5%	16,81	1,43	2,32	2,59
10%	15,70	1,29	2,18	2,40
15%	13,42	0,92	1,99	2,14
20%	11,99	0,83	1,79	2,01
25%	10,72	0,55	1,60	1,90
30%	9,66	0,54	1,41	1,77

PS – proporção de seleção.

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 7 – Estimativas do ganho esperado (GE) na seleção para os caracteres produtividade de grãos (Prod.), teor de óleo (Óleo) e teor de proteína (Proteína). Dados referentes às progêneses S_{0:3} no ano agrícola 2017/2018.

PS%	Prod. (scs.ha ⁻¹)	Óleo (%)	Proteína (%)
	GE%	GE%	GE%
5%	1,35	0,56	0,64
10%	1,32	0,43	0,51
15%	1,15	0,24	0,43
20%	1,00	0,16	0,38
25%	0,90	0,10	0,35
30%	0,74	0,00	0,28

PS – proporção de seleção.

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 8 – Estimativas do ganho esperado (GE) na seleção para os caracteres produtividade de grãos (Prod.), teor de óleo (Óleo) e teor de proteína (Proteína). Dados referentes às progênes $S_{0:1}$, $S_{0:2}$ e $S_{0:3}$ nos anos agrícolas 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018.

PS%	Prod. (scs.ha ⁻¹)	Óleo (%)	Proteína (%)
	GE%	GE%	GE%
5%	14,51	1,23	1,60
10%	12,08	0,78	1,55
15%	9,72	0,35	1,39
20%	9,17	0,26	1,32
25%	8,60	0,18	1,27
30%	7,77	0,02	1,06

PS – proporção de seleção.

Fonte: Do autor (2019).

As estimativas do ganho com a seleção variaram de acordo com as proporções de seleção aplicadas. Como previsto, quanto menor a proporção de seleção, ou seja, quanto menor a quantidade de indivíduos selecionados, maior é o ganho obtido, porém, maior também será a redução da variabilidade genética nas próximas gerações (TABELAS 5, 6, 7 e 8).

Observa-se, que, as estimativas do ganho realizado nas gerações $S_{0:1}$ e $S_{0:2}$ são inferiores às estimativas do ganho esperado na seleção (TABELAS 5 e 6). Houve redução na magnitude dos valores do ganho esperado com a seleção entre as gerações $S_{0:1}$, $S_{0:2}$ e $S_{0:3}$, especialmente para o caráter produtividade de grãos (TABELAS 5, 6 e 7). Porém, cabe ressaltar, que essa redução ao longo das gerações é em termos percentuais e em relação a uma média superior a da geração anterior.

Na Tabela 9 estão apresentadas as estimativas da resposta correlacionada avaliada para os caracteres teor de óleo e teor de proteína em relação à seleção feita para o caráter produtividade de grãos. Verifica-se que com a seleção das progênes mais produtivas, considerando as diferentes proporções de seleção, houve aumento dos teores de óleo e redução nos teores de proteína.

Tabela 9 – Estimativas da resposta correlacionada para a seleção em relação a produtividade de grãos para os caracteres teor de óleo (Óleo) e teor de proteína (Proteína). Dados referentes às progênies $S_{0:1}$, $S_{0:2}$ e $S_{0:3}$ nos anos agrícolas 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018.

PS%	Óleo (%)	Proteína (%)
5%	1,01	-0,21
10%	0,31	-0,30
15%	0,71	-0,31
20%	0,55	0,27
25%	0,63	-0,30
30%	0,20	-0,08

PS – proporção de seleção.

Fonte: Do autor (2019).

4 DISCUSSÃO

No presente estudo, a precisão experimental foi aferida por meio do coeficiente de variação (CV) e da acurácia seletiva ($r_{\hat{g}g}$). O CV é considerado baixo ou de alta precisão, quando inferior a 10%, médio ou de boa precisão de 10% a 20%, alto ou de baixa precisão de 20% a 30% e muito alto ou de baixíssima precisão quando superior a 30% (PIMENTEL GOMES, 2009). Por seu turno, as estimativas de $r_{\hat{g}g}$ podem ser consideradas de alta precisão quando superiores a 70%, de média precisão de 30% a 70%, e de baixa precisão quando inferiores a 30% (RESENDE; DUARTE, 2007). Desta forma, os valores de CV e $r_{\hat{g}g}$, obtidas na análise conjunta para todos os caracteres, indicam média a alta precisão experimental (TABELA 3).

O valor mais elevado de CV, apresentado para o caráter produtividade de grãos, evidencia a complexidade do controle genético do caráter, uma vez que este é muito influenciado pelos fatores inerentes ao ambiente em estudo. Espera-se que, quanto mais complexo seja o controle do caráter, maior a influência ambiental e, portanto, mais elevadas serão as estimativas de CV e menores as estimativas de acurácia seletiva (RESENDE; DUARTE, 2007).

Os componentes de variância genética entre as progênieis foram significativos para todos os caracteres avaliados, evidenciando assim, a existência de variabilidade genética entre elas (TABELA 3). Os altos valores de herdabilidades obtidos para todos os caracteres avaliados denotam grande variação devido a fatores de natureza genética e menor variação devido a fatores de natureza ambiental, sugerindo assim, maior precisão na seleção e a possibilidade de se fazer seleção em gerações mais precoces. Ressalta-se que, a existência de variabilidade genética é imprescindível para o sucesso dos programas de melhoramento genético de plantas, pois a seleção de indivíduos superiores é eficiente se realizada sobre variações herdáveis (BERNARDO, 2010; RAMALHO et al., 2012).

Do ponto de vista do melhoramento genético de plantas é essencial obter estimativas que demonstrem a influência do ambiente sobre os caracteres de estudo, pois a variação fenotípica de cada tratamento genético depende, além do efeito genético em si, do efeito do ambiente e da interação genótipos x ambientes (G x A). A avaliação conjunta, envolvendo vários ambientes permitiu a estimação do componente da variação da interação G x A.

Devido à natureza quantitativa do controle genético dos caracteres avaliados, o componente da interação G x A foi significativo para todos os caracteres avaliados (TABELA 3). Por ser de grande importância, o efeito da interação G x A tem sido amplamente estudado e mencionado para a cultura da soja em Minas Gerais (BIANCHI, 2018; CARVALHO, 2017; GESTEIRA et al., 2018; SILVA et al., 2016; SOARES et al., 2015; VILELA, 2019; ZAMBIAZZI et al., 2017) e reforçam os resultados obtidos neste estudo.

Quando se trabalha com vários caracteres em programas de melhoramento, é oportuno estimar a correlação entre caracteres para medir o grau de associação entre duas variáveis. Neste estudo, obteve-se a correlação genética, associação de natureza hereditária, entre os caracteres teor de óleo e teor de proteína presentes nos grãos.

Uma forte correlação, negativa e significativa ($r = -0,82$, valor $p \leq 0,05$), foi encontrada entre os teores de óleo e proteína nos grãos, ou seja, quanto maior o teor de óleo nos grãos, menor o teor de proteína e vice e versa. Outros estudos (BUENO et al., 2013; GESTEIRA et al., 2018; LEE et al., 2019; MORAES et al., 2006; RODRIGUES et al., 2010; ROGERS et al., 2015) corroboram com esse resultado. Esta correlação negativa pode ser explicada devido a um único QTL (*Quantitative Trait Locus*) pleiotrópico, cujos dois alelos têm efeitos inversos nos teores de óleo e proteína ou a um par de QTLs fortemente ligados, em que um alelo causa alto teor de óleo e baixo teor de proteína e o outro alelo causa baixo teor de óleo e alto teor de proteína (SUN, 2011). Nesse caso, o emprego de índices de seleção são muito úteis para se identificar e selecionar genótipos que associem bom desempenho em produtividade de grãos e altos teores de óleo e proteína. Gesteira et al. (2018) conseguiram identificar linhagens que apresentaram bom desempenho em produtividade e qualidade de grãos, utilizando o índice de seleção múltipla padronizado (ISMP).

Como o principal objetivo dos programas de melhoramento genético é a obtenção de indivíduos superiores ao final do programa, a estimação dos ganhos com a seleção é essencial, uma vez que estes permitem antever o comportamento das progênes na geração seguinte. Verifica-se que, quanto menor é a proporção de seleção, maior é o ganho obtido. Isso ocorre porque os indivíduos selecionados são aqueles que possuem uma maior frequência de alelos favoráveis. Porém, cabe ressaltar, que ao usar uma menor proporção de seleção, há redução na variabilidade genética (RAMALHO et al., 2012).

Em relação aos ganhos realizados, os valores estimados para o caráter produtividade de grãos foram sempre inferiores às estimativas de ganho esperado com a seleção (TABELAS

5 e 6). Resultados semelhantes foram reportados por outros autores (PEREIRA, 2017; SILVA, 2018; SOARES, 2018) e podem ser explicados, sobretudo, pelo efeito da interação genótipo x ambiente. Vale ressaltar que os valores de ganho esperado com a seleção na geração $S_{0:1}$ (TABELA 5) podem estar inflados, uma vez que não é possível isolar o componente da interação genótipo x ambiente.

No presente estudo estimou-se também, a resposta correlacionada para os teores de óleo e proteína realizada por meio da seleção das progênes com maiores produtividade de grãos (TABELA 9). A partir dos resultados, pode-se observar que, com a seleção das progênes mais produtivas aumenta-se os teores de óleo e reduz-se os teores de proteína (TABELA 9). Alguns trabalhos na literatura (GESTEIRA et al., 2018; RODRIGUES et al., 2010; ROGERS et al., 2015) relatam que a seleção para produtividade de grãos aumenta os teores de óleo e reduz o teor de proteína nos grãos. Contudo, é possível associar bom desempenho em produtividade e qualidade de grãos, como observado para a progênie 58 na Tabela 1A. Além disso, é importante dizer que apesar da redução no percentual de teor de proteína nos grãos, o rendimento absoluto de proteína por área pode ser maior devido ao aumento na produtividade de grãos (GESTEIRA et al., 2018).

4 CONCLUSÕES

É possível ter sucesso com a seleção para produtividade e teores de óleo e proteína nos grãos em soja, uma vez que a progênie 58 apresentou bom desempenho em produtividade e qualidade de grãos (altos teores de óleo e proteína).

Existe influência da interação $G \times A$ nas estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos associados aos caracteres produtividade de grãos e aos teores de óleo e proteína em soja.

Recomenda-se a utilização de índices de seleção para a identificação e seleção de genótipos que associem bom desempenho em produtividade de grãos e altos teores de óleo e proteína nos grãos.

REFERÊNCIAS

- ALI, A. et al. Estimation of genetic parameters in soybean for yield and morphological characters. **Pakistan Journal of Agriculture, Agricultural Engineering Veterinary Sciences**, v. 32, n. 2, p. 162-168, 2016.
- BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. 2. ed. Woodbury, Minnesota: Stemma Press, 2010. 400 p.
- BIANCHI, M. C. **Implicações da interação genótipos por ambientes na seleção de progênies de soja**. 2018. 63 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.
- BORÉM, A. **Hibridação artificial de plantas**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2009. 625 p.
- BUENO, R. et al. Genetic parameters and genotype x environment interaction for productivity, oil and protein content in soybean. **African Journal of Agricultural Research**, v. 8, n. 38, p. 4853-4859, 2013.
- CARVALHO, J. P. S. **Classificação de cultivares de soja adotando abordagem univariada e multivariada**. 2017. 68 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.
- CHANDRAWAT, K. S. et al. Study on genetic variability, heritability and genetic advance in soybean. **International Journal of Pure and Applied Bioscience**, v. 5, n. 1, p. 57-63, 2017.
- FARIAS NETO, J. T. D.; VELLO, N. A. Avaliação de progênies F4:3 e F5:3 e estimativas de parâmetros genéticos com ênfase para porcentagem de óleo, produtividade de grãos e óleo em soja. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 25, n. 4, p. 812-820, 2001.
- GESTEIRA, G. S. et al. Selection of Early Soybean Inbred Lines Using Multiple Indices. **Crop Science**, v. 58, n. 6, p. 2494-2502, 2018.
- GEZAN, S. A.; MUNOZ, P. R. **Analysis of experiments using ASReml: with emphasis on breeding trials**, 2014. Disponível em: <https://www.biostatgen.com/uploads/3/8/9/6/38964623/alldiap_sa_oct2014.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2019.
- HEIL, C. **Rapid, multi-component analysis of soybeans by FT-NIR spectroscopy**, Madison, WI USA, 2019. Disponível em: <<http://www.nicoletcz.cz/upload/kc/files/aplikacni-podpora/nir/soybeans.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2019.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**, Brasília, DF, 2019. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 15 jun. 2019.

- LEE, S. et al. Genome-wide association study of seed protein, oil and amino acid contents in soybean from maturity groups I to IV. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 132, n. 6, p. 1639-1659, 2019.
- MORAES, R. M. A. D. et al. Caracterização bioquímica de linhagens de soja com alto teor de proteína. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 5, p. 715-729, 2006.
- PATIL, G. et al. Dissecting genomic hotspots underlying seed protein, oil, and sucrose content in an interspecific mapping population of soybean using high-density linkage mapping. **Plant Biotechnology Journal** v. 16, n. 11, p. 1939-1953, 2018.
- PEREIRA, D. R. **Interação genótipos x ambientes e implicações na associação entre caracteres em soja**. 2017. 64 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.
- PIEPHO, H.-P.; MÖHRING, J. Computing heritability and selection response from unbalanced plant breeding trials. **Genetics**, v. 177, n. 3, p. 1881-1888, 2007.
- PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: ESALQ, 2009. 451 p.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2018. Disponível em: < <https://www.R-project.org/> >. Acesso em: 16 jun. 2019.
- RAMALHO, M. A. P. et al. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: UFLA, 2012. 522 p.
- RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.
- RODRIGUES, J. I. D. S. et al. Mapeamento de QTL para conteúdos de proteína e óleo em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 5, p. 472-480, 2010.
- ROGERS, J. et al. Agronomic performance and genetic progress of selected historical soybean varieties in the southern USA. **Plant Breeding**, v. 134, n. 1, p. 85-93, 2015.
- SILVA, E. V. V. **Parâmetros genéticos e fenotípicos associados à precocidade em soja**. 2018. 55 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.
- SILVA, K. B. et al. Adaptability and phenotypic stability of soybean cultivars for grain yield and oil content. **Genetics and Molecular Research**, v. 15, n. 2, p. 1-11, 2016.
- SOARES, I. O. **Potential of recurrent selection for soybean improvement**. 2018. 64 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.

SOARES, I. O. et al. Adaptability of soybean cultivars in different crop years. **Genetics and Molecular Research**, v. 14, n. 3, p. 8995-9003, 2015.

SUN, Y. K. **Identification of soybean seed oil QTLs with little or no impact on seed protein**. 2011. 135 p. Dissertations (Master of Science) - University of Nebraska, Lincoln, 2011.

USDA. United States Department of Agriculture. **Production, supply and distribution online**, 2019. Disponível em: <
<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/home> >. Acesso em: 20 jul. 2019.

VAL, B. H. P. et al. Identification of superior soybean lines by assessing genetic parameters and path analysis of grain yield components. **African Journal of Biotechnology**, v. 16, n. 8, p. 328-336, 2017.

VILELA, G. L. D. **Potencial genético de populações de soja para produtividade de grãos e maturação absoluta**. 2019. 48 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.

ZAMBIAZZI, E. V. et al. Estimates of genetics and phenotypics parameters for the yield and quality of soybean seeds. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 3, p. 1-12, 2017.

APÊNDICE A

Tabela 1A – Tabela de médias BLUP conjuntas para os caracteres produtividade de grãos (Prod.), teor de óleo (Óleo) e teor de proteína (Proteína). Dados referentes às progêneses S_{0:1}, S_{0:2}, S_{0:3} e parentais nos anos agrícolas 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018.

Progênes	Prod. (scs.ha⁻¹)	Óleo (%)	Proteína (%)
58	79,79	21,86	38,48
BRS FAVORITA RR*	77,48	21,74	37,49
49	76,40	21,61	38,67
NK 7074 RR*	75,60	21,97	38,42
21	74,82	21,94	37,70
54	74,81	21,71	38,48
64	74,53	21,96	37,41
2	73,72	22,87	36,64
46	73,61	22,25	37,99
5G 830 RR*	73,54	22,36	36,33
57	73,09	21,49	38,88
51	73,06	21,53	38,59
52	72,82	21,94	38,05
78	72,42	21,67	38,11
BMX Força RR*	72,18	22,00	38,22
45	71,81	21,41	38,81
V-TOP RR*	71,66	22,31	37,31
CD 237 RR*	67,45	22,64	37,20
M 7908 RR*	66,00	22,13	37,82
CD 215 RR*	63,39	22,25	36,83
CD 2630 RR*	61,73	22,17	36,85
5D 690 RR*	59,51	22,37	36,49
TMG 7161 RR*	56,32	22,49	37,18
NA 5909 RG*	55,33	22,04	37,53
CD 250 RR*	51,01	21,62	38,74

* – valores referentes aos parentais.

Fonte: Do autor (2019).

CAPÍTULO 3 INTERAÇÃO GENÓTIPOS X ANOS AGRÍCOLAS E GENÓTIPOS X LOCAIS E IMPLICAÇÕES NA PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE GRÃOS EM SOJA

RESUMO

Tendo em vista que a cultura da soja pode ser cultivada em um grande número de ambientes distintos, a caracterização da interação G x A é de suma importância. Além de determinar a correlação entre o genótipo e o fenótipo dos indivíduos, a interação G x A é essencial para a recomendação de cultivares de acordo com os tipos de ambientes existentes. A condução de experimentos em vários ambientes (locais e anos agrícolas) permite a avaliação da magnitude e do tipo de interação G x A existente, implicando nas estratégias de condução dos programas de melhoramento. Do exposto, objetivou-se determinar o efeito da interação genótipos x ambientes (safras e locais), bem como a contribuição relativa das fontes de variação na produtividade de grãos e nos teores de óleo e proteína de progênies de soja cultivadas em diferentes ambientes. Foram avaliadas progênies S_{0:1}, S_{0:2} e S_{0:3} nas safras 2015/2016, no município de Lavras, 2016/2017, nos municípios de Lavras, Itutinga e Nazareno, e 2017/2018, nos municípios de Lavras, Itutinga e Ijaci. Foram avaliados os caracteres produtividade de grãos, teor de óleo e teor de proteína. Foram realizadas as análises de variância conjuntas por local ou safra, e a análise conjunta geral, envolvendo todos os locais e anos agrícolas. Foi estimada a contribuição relativa das fontes de variação, bem como a herdabilidade para todos os caracteres avaliados. Para todos os caracteres avaliados a contribuição relativa do efeito genotípico foi maior que do efeito da interação G x A. Assim, na expressão fenotípica há maior influência de fatores de natureza genética. Para o caráter teor de proteína a avaliação em um maior número de locais em detrimento de um maior número de safras é relativamente mais importante. Para o caráter teor de óleo a otimização dos experimentos deve ser no sentido de avaliar o caráter em um maior número de safras em detrimento de um maior número de locais.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) Merrill. Interação genótipos x ambientes. Teores de óleo e proteína.

ABSTRACT

Given that soybean can be cultivated in a large number of distinct environments, the study and description of the GE interaction is important. In addition to determine the correlation between genotype and phenotype of individuals, the GE interaction is essential for the recommendation of cultivars according to the types of the environments. Conducting experiments in several environments (crop years and locations) allows the evaluation of the magnitude and type of GE interaction, implying in the strategies of conduction of breeding programs. This study aims to determine the effect of genotype-by-environment interaction (crop years and locations), as well as the relative contribution of sources of variation in grain yield, grain oil and protein content of soybean progenies grown in different environments. S_{0:1}, S_{0:2} and S_{0:3} progenies were evaluated in the 2015/2016 crop season, in Lavras, 2016/2017, in Lavras, Itutinga and Nazareno, and 2017/2018, in Lavras, Itutinga and Ijaci. Grain yield, grain oil and protein content were evaluated. Joint analysis of variance by location, by crop season and a general joint analysis involving all environments (locations x crop years) were performed. The relative contribution of each source of variation as well as the heritability for these traits were estimated. The relative contribution of the genetic effect was greater than the effect of the GE interaction for all traits. Thus, genetic factors perform greatly in phenotypic expression. For protein content trait, it is preferable to evaluate a vast number of locations over a larger number of crop seasons. On the other hand, for oil content trait, aiming experiment optimization, it is recommended to evaluate the progenies over several crop seasons in detriment of a larger number of locations.

Keywords: *Glycine max* (L.) Merrill. Genotype x environment interaction. Oil and protein content.

1 INTRODUÇÃO

A composição química do grão de soja é formada por proteínas ($\cong 40\%$), carboidratos ($\cong 30\%$), lipídios ($\cong 23\%$), fibras ($\cong 6\%$), cinzas, minerais e vitaminas. De acordo com os efeitos ambientais, genéticos e de interação, essa composição pode ser alterada (JUHÁSZ; CIABOTTI; TEIXEIRA, 2017). Juntamente com a alta produtividade, os altos teores de óleo e proteína encontrados nos grãos da soja são considerados os principais caracteres que fazem com que a soja seja considerada uma das *commodities* agrícolas de maior sucesso, sendo uma das culturas de maior relevância no mercado internacional (GESTEIRA et al., 2018).

A obtenção de cultivares produtivas com teores de óleo e proteína significativamente maiores é um dos principais objetivos dos programas de melhoramento genético de soja. Contudo, a interação genótipos x ambientes pode complicar o trabalho dos melhoristas e, conseqüentemente, o desenvolvimento de cultivares. A interação genótipos x ambientes é caracterizada pelo comportamento não coincidente dos genótipos frente às variações ambientais. Ela ocorre porque a manifestação dos diferentes alelos varia em função das alterações nas condições ambientais (RAMALHO et al., 2012). É rotina, em programas de melhoramento, experimentos com genótipos em diferentes locais e safras, sendo que o comportamento destes não é constante nos diferentes ambientes. Essa inconsistência no comportamento dos genótipos frente às variações ambientais, gera a interação genótipos x ambientes, que quando significativa, pode indicar a existência de genótipos específicos para determinados ambientes.

No estudo da interação genótipos x ambientes, vários autores (ROCHA et al., 2009; ROCHA et al., 2002; SUDARIĆ; ŠIMIĆ; VRATARIĆ, 2006; TOLEDO et al., 2006; YAN; RAJCAN, 2003; ZHE et al., 2010) têm demonstrado a importância da decomposição deste componente para avaliação das interações genótipos x locais e genótipos x anos para os caracteres produtividade de grãos, teor de óleo e teor de proteína. Estas interações permitem inferir a respeito das melhores estratégias a serem adotadas no futuro dos programas de melhoramento de plantas.

Assim, objetivou-se determinar o efeito da interação genótipos x ambientes (safras e locais), bem como a contribuição relativa das fontes de variação na produtividade de grãos e nos teores de óleo e proteína de progênies de soja cultivadas em diferentes ambientes.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Tratamentos genéticos e ambientes experimentais

Foram utilizadas progênies segregantes S_{0:1}, S_{0:2} e S_{0:3} oriundas de cruzamentos entre as seguintes linhagens: CD 250 RR, TMG 7161 RR, CD 237 RR, M 7908 RR, CD 2630 RR, CD 215 RR, 5G 830 RR, BRS FAVORITA RR, V-TOP RR, NK 7074 RR, NA 5909 RG, BMX Força RR e 5D 690 RR. A escolha dos parentais foi realizada considerando o desempenho das cultivares na região Sul do Minas Gerais, assim, foram selecionadas cultivares com bom desempenho agrônomo para a região. As características de todos os parentais utilizados estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Relação das cultivares de soja e suas respectivas informações de grupo de maturação (GM), hábito de crescimento (HC), empresa mantenedora do material genético e teores médios de óleo e proteína.

Cultivares	GM	HC	Empresa mantenedora	Óleo (%)	Proteína (%)
5D 690 RR	6.9	Indeterminado	Coodetec ^{1/}	22,61	36,45
5G 830 RR	8.3	Determinado	Coodetec	22,24	36,82
BMX Força RR	6.2	Indeterminado	GDM Genética do Brasil S.A.	21,63	39,05
BRS FAVORITA RR	7.9	Determinado	Embrapa ^{2/}	21,19	38,59
CD 215 RR	5.5	Indeterminado	Coodetec	21,47	37,6
CD 237 RR	7.3	Determinado	Coodetec	22,78	38,09
CD 250 RR	5.5	Indeterminado	Coodetec	20,95	40,34
CD 2630 RR	6.3	Indeterminado	Coodetec	21,44	38,51
M 7908 RR	7.9	Determinado	D&PL Brasil Ltda.	22,02	38,16
NA 5909 RG	5.9	Indeterminado	Nidera Seeds Brasil Ltda.	21,44	38,51
NK 7074 RR	7.4	Determinado	Syngenta Ltda.	21,65	39,27
TMG 7161 RR	5.9	Indeterminado	TMG ^{3/}	22,16	38,28
V-TOP RR	5.9	Indeterminado	Syngenta Ltda.	22,33	37,85

^{1/} – Coodetec Desenvolvimento, Produção e Comercialização Agrícola Ltda., Dupont do Brasil S.A. - Divisão Pioneer Sementes; ^{2/} – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; ^{3/} – Tropical Melhoramento & Genética S.A.

Fonte: Do autor (2019).

Os cruzamentos foram realizados em esquema de *top cross* em casa de vegetação na safra de verão 2013/2014. A hibridação manual seguiu o procedimento descrito por Borém (2009). As sementes da geração F_1 foram avançadas na safra de inverno de 2014 em casa de vegetação, adotando duas plantas por vaso. Na safra de verão 2014/2015 a população S_0 foi semeada adotando 28 linhas de 5 metros, considerando 15 sementes/metro como densidade de semeadura. Na maturação fisiológica foram colhidas plantas individuais visando a obtenção das progênes $S_{0.1}$. As plantas foram trilhadas individualmente utilizando debulha manual.

As progênes $S_{0.1}$ foram avaliadas na safra de verão 2015/2016, no município de Lavras, no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária – Fazenda Muquém. Adotou-se parcela experimental de 1 linha de 2 metros com duas repetições, considerando o delineamento de látice simples 12 x 12 (131 progênes + 13 parentais). Foram selecionadas 51 progênes superiores para a avaliação na geração $S_{0.2}$.

As progênes $S_{0.2}$ foram avaliadas na safra de verão 2016/2017, no município de Lavras, no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária – Fazenda Muquém, no município de Itutinga, na Fazenda Milanez, e no município de Nazareno, na Fazenda Grupo G7. Adotou-se látice triplo 8 x 8 (51 progênes + 13 parentais) com 1 linha de 3 metros de comprimento como parcela experimental. As 12 progênes superiores foram selecionadas para a avaliação na geração $S_{0.3}$.

As progênes $S_{0.3}$ foram avaliadas na safra de verão 2017/2018, no município de Lavras, no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária – Fazenda Muquém; no município de Itutinga, na Fazenda Milanez; e no município de Ijaci no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária – Fazenda Palmital. Adotou-se látice triplo 5 x 5 (12 progênes + 13 linhas parentais) com 2 linhas de 3 metros de comprimento como parcela experimental.

As características dos locais, como altitude, latitude e longitude estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização dos locais de avaliação de acordo com as variáveis altitude, latitude e longitude.

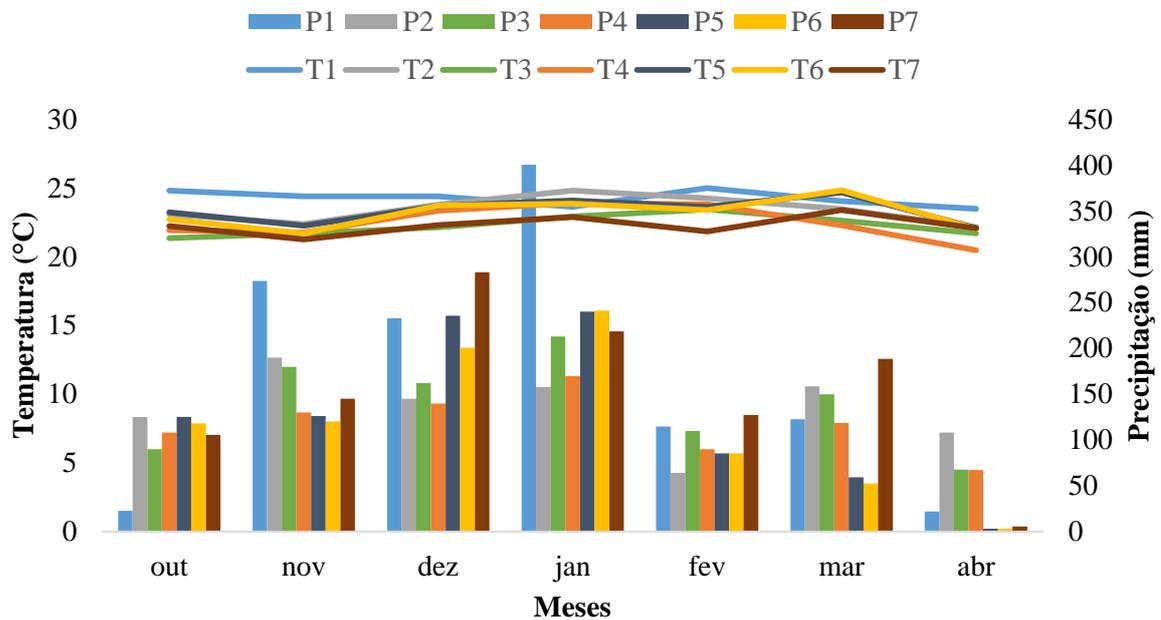
Local	Altitude (m)	Latitude	Longitude
Lavras	918	21°14'43'' S	49°59'59'' W
Itutinga	969	21°17'52'' S	44°39'28'' W
Nazareno	935	21°12'59'' S	44°36'41'' W
Ijaci	920	21°09' S	44°54' W

Fonte: Do autor (2019).

Os dados climatológicos dos ambientes experimentais estão apresentados na Figura 1 conforme a seguinte descrição:

- a) Lavras 2015/16 corresponde ao ambiente 1, sendo a precipitação do ambiente (P1) e temperatura média (T1);
- b) Lavras 2016/17 corresponde ao ambiente 2, sendo a precipitação do ambiente (P2) e temperatura média (T2);
- c) Nazareno 2016/17 corresponde ao ambiente 3, sendo a precipitação do ambiente (P3) e temperatura média (T3);
- d) Itutinga 2016/17 corresponde ao ambiente 4, sendo a precipitação do ambiente (P4) e temperatura média (T4);
- e) Lavras 2017/18 corresponde ao ambiente 5, sendo a precipitação do ambiente (P5) e temperatura média (T5);
- f) Ijaci 2017/18 corresponde ao ambiente 6, sendo a precipitação do ambiente (P6) e temperatura média (T6);
- g) Itutinga 2017/18 corresponde ao ambiente 7, sendo a precipitação do ambiente (P7) e temperatura média (T7).

Figura 1 – Variações mensais de precipitação e temperatura média no período de outubro a abril nos ambientes avaliados.



Fonte: Do autor (2019), adaptado de Instituto Nacional de Meteorologia – Inmet (2019).

4.2 Condução dos experimentos

Adotou-se para todos os ambientes avaliados, o sistema de plantio direto, com sulcos de semeadura espaçados em 0,50 m. As semeaduras foram realizadas na primeira quinzena do mês de novembro em Lavras (safras 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018), Nazareno (safra 2016/2017), e Ijaci (safra 2017/2018), na segunda quinzena do mês de novembro em Itutinga (safra 2016/2017), e na primeira quinzena de dezembro em Itutinga (safra 2017/2018). A adubação foi realizada via sulco utilizando-se de 350 kg.ha⁻¹ do formulado N-P₂O₅-K₂O (02-30-20).

A inoculação, via sulco de semeadura, foi realizada no momento do plantio. Utilizou-se o inoculante Nitragin Cell Tech HC[®] contendo bactérias *Bradyrhizobium japonicum* – estirpes SEMIA 5079 e 5080 (3x10⁹ UFC/mL), na forma de inoculante líquido, na dose de 18 mL p. c. kg⁻¹ de semente (seis vezes a dose recomendada na inoculação via semente). O volume de calda aplicado foi equivalente a 150 L.ha⁻¹. A semeadura foi realizada manualmente.

Para o controle de pragas, utilizou-se inseticidas com ingredientes ativos Neonicotinoide, Piretroide e Clorpirifós, sendo as aplicações condicionadas à necessidade de

controle das pragas. O controle de plantas daninhas em pós-emergência foi efetuado utilizando glifosato na dosagem de 2 L.ha⁻¹.

Foram avaliados os seguintes caracteres:

- a) Produtividade de grãos: valor em scs.ha⁻¹ após conversão para 13% de umidade.
- b) Teores percentuais de óleo e proteína: foram determinados em grãos íntegros pela técnica da Refletância do Infravermelho Próximo (NIR), utilizando-se o equipamento Thermo, modelo Antaris II, segundo Heil (2019).

4.3 Análise estatística dos dados

Os dados foram submetidos às análises de variâncias e as médias obtidas foram agrupadas pelo teste de Scott e Knott (1974) a 5% de probabilidade com auxílio do *software* R (R CORE TEAM, 2018) seguindo as estratégias apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Estratégias de análise dos dados referentes à avaliação de progênies S_{0:1}, S_{0:2} e S_{0:3} de soja em Lavras, Ijaci, Itutinga e Nazareno nos anos agrícolas 2015/16, 2016/17, 2017/18.

Análise	Modelo estatístico
Produtividade de grãos	
Conjunta dos locais em cada safra	$y_{ijl} = \mu + p_i + b_{j(l)} + a_l + (pa)_{il} + e_{ij(l)}$
Conjunta das safras em cada local	$y_{ijk} = \mu + p_i + b_{j(k)} + s_k + (ps)_{ik} + e_{ijk}$
Conjunta geral	$y_{ijkl} = \mu + p_i + b_{j(kl)} + s_k + a_l + (ps)_{ik} + (pa)_{il} + (sa)_{kl} + (psa)_{ikl} + e_{ijk(l)}$
Teores de óleo e proteína	
Conjunta dos locais em cada safra	$y_{il} = \mu + p_i + a_l + (pa)_{il} + e_{i(l)}$
Conjunta das safras em cada local	$y_{ik} = \mu + p_i + s_k + (ps)_{ik} + e_{ik}$
Conjunta geral	$y_{ikl} = \mu + p_i + s_k + a_l + (ps)_{ik} + (pa)_{il} + (sa)_{kl} + (psa)_{ikl} + e_{ik(l)}$

$y_{ijl} = y_{ijk} = y_{ijkl} = y_{il} = y_{ik} = y_{ikl}$: valor fenotípico; μ : constante associada a todas as observações; p_i : efeito das progênies i ; $b_{j(l)}$: efeito do bloco j dentro do local l ; $b_{j(k)}$: efeito do bloco j dentro da safra k ; $b_{j(kl)}$: efeito do bloco j dentro do local l , dentro da safra k ; a_l : efeito do local l ; s_k : efeito da safra k ; $(pa)_{il}$: efeito da interação progênies e locais; $(ps)_{ik}$: efeito da interação progênies e safras; $(sa)_{kl}$: efeito da interação safras e locais; $(psa)_{ikl}$: efeito da interação progênies, safras e locais; $e_{ij(l)} = e_{ijk} = e_{ijk(l)} = e_{i(l)} = e_{ik} = e_{ik(l)}$: erro experimental associado à observação $y_{ijl} = y_{ijk} = y_{ijkl} = y_{il} = y_{ik} = y_{ikl}$, sendo $e_{ij(l)} = e_{ijk} = e_{ijk(l)} = e_{i(l)} = e_{ik} = e_{ik(l)} \sim N(0, \sigma_e^2)$, respectivamente.

Fonte: Do autor (2019).

A precisão experimental foi aferida por meio da estimativa do coeficiente de variação experimental (CV) e da acurácia seletiva ($r_{\hat{g}g}$) (RESENDE; DUARTE, 2007), de acordo com os estimadores:

$$CV = \frac{\sqrt{QME}}{\bar{Y}} \times 100 \quad (1)$$

em que:

CV : coeficiente de variação experimental expresso em porcentagem;

QME : quadrado médio do erro;

\bar{Y} : média fenotípica geral.

$$r_{\hat{g}g} = \sqrt{1 - \frac{1}{F_c}} \times 100 \quad (2)$$

em que:

$r_{\hat{g}g}$: acurácia seletiva expressa em porcentagem;

F_c : valor de F calculado.

A soma de quadrados total foi particionada em seus componentes para estimar a contribuição relativa (R^2), do genótipo e da interação genótipos x ambientes sobre todos os caracteres avaliados, segundo o estimador:

$$R^2 = \frac{SQ(FV)}{SQT - (SQB + SQR)} \times 100 \quad (3)$$

em que:

R^2 : contribuição relativa da fonte de variação desejada expressa em porcentagem;

$SQ(FV)$: soma de quadrados da fonte de variação desejada;

SQT : soma de quadrados total;

SQB : soma de quadrados de blocos;

SQR : soma de quadrados do resíduo.

5 RESULTADOS

O resumo da análise de variância conjunta e a contribuição relativa das fontes de variação para os caracteres avaliados referentes às progêneses S_{0:2}, S_{0:3} e parentais, em Lavras e Itutinga, nos anos agrícolas 2016/2017 e 2017/2018, estão apresentadas na Tabela 4. Observou-se que as estimativas de acurácia seletiva ($r_{\hat{g}g}$) variaram de 88,73% (produtividade de grãos) a 99,30% (teor de proteína). Por sua vez, o coeficiente de variação (CV) variou de 1,30% (teor de proteína) a 22,11% (produtividade de grãos) (TABELA 4). Os valores de CV e $r_{\hat{g}g}$, obtidas na análise conjunta, para os caracteres teor de óleo e teor de proteína indicam alta precisão (TABELA 4). Para o caráter produtividade de grãos, a estimativa de CV indicou baixa precisão, porém a $r_{\hat{g}g}$ indicou alta precisão (TABELA 4).

Tabela 4 – Resumo da análise de variância conjunta e contribuição relativa das fontes de variação de genótipos, safras, locais e interações para os caracteres produtividade de grãos (Prod.), teor de óleo (Óleo) e teor de proteína (Proteína). Dados referentes às progêneses S_{0:2}, S_{0:3} e parentais em Lavras e Itutinga nos anos agrícolas 2016/2017 e 2017/2018.

FV	GL	Prod. (scs.ha ⁻¹)		Óleo (%)		Proteína (%)	
		SQ	R ² (%)	SQ	R ² (%)	SQ	R ² (%)
Genótipos (G)	24	22761,80*	35,97	190,94*	47,50	441,59*	58,36
Safras (S)	1	12973,78*	20,50	10,66*	2,65	13,80*	1,82
Locais (L)	1	5103,06*	8,06	2,86*	0,71	36,48*	4,82
G x S	24	3954,12	6,25	65,55*	16,31	70,10*	9,26
G x L	24	4706,35	7,44	55,78*	13,88	80,34*	10,62
S x L	1	3718,60*	5,88	14,76*	3,67	50,16*	6,63
G x S x L	24	10067,90*	15,91	61,47*	15,29	64,20*	8,48
Erro Médio		38528,67		94,80		76,00	
Média Geral		64,23		21,67		38,63	
h^2 (%)		78,73		96,02		98,60	
h^2 (LI – LS) ^{1/}		63,52 – 89,27		93,30 – 97,98		97,71 – 99,31	
$r_{\hat{g}g}$ (%)		88,73		97,99		99,30	
CV (%)		22,11		2,59		1,30	

FV – fontes de variação; GL – graus de liberdade; SQ – soma de quadrado; R² – contribuição relativa das fontes de variação; h^2 – herdabilidade; ^{1/} – limites inferior (LI) e superior (LS) da estimativa da herdabilidade a 95% de probabilidade; $r_{\hat{g}g}$ – acurácia; CV – coeficiente de variação; * – significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: Do autor (2019).

A fonte de variação da interação genótipos x safras x locais (G x S x L) foi significativa para todos os caracteres avaliados (TABELA 4). Depreende-se então, que há comportamento não coincidente entre os genótipos, nas safras e nos locais avaliados. As fontes de variação de genótipos, safras, e de locais, foram significativas para todos os caracteres avaliados, demonstrando a existência de diferenças significativas entre os genótipos, as safras e os locais (TABELA 4). As estimativas de herdabilidade, variaram de 78,73% (produtividade de grãos) a 98,60% (teor de proteína), e corroboram a existência de variabilidade genética (TABELA 4).

É oportuno destacar também, que a fonte de variação da interação safras x locais (S x L) foi significativa para todos os caracteres avaliados, e que a fonte de variação das interações genótipos x safras (G x S) e genótipos x locais (G x L) foram significativos para os teores de óleo e proteína nos grãos (TABELA 4).

Dentre os efeitos avaliados, o efeito genotípico foi o mais pronunciado, com contribuição relativa de 35,97%, 47,50% e 58,36% para os caracteres produtividade de grãos, teor de óleo e teor de proteína, respectivamente (TABELA 4). Esse resultado evidencia que na expressão fenotípica há grande influência de fatores de natureza genética. Para o caráter produtividade de grãos, observa-se também, contribuição relativa pronunciada das safras, ou seja, influência de fatores não genéticos na expressão fenotípica (TABELA 4). Além disso, fica evidente a importância das contribuições relativas das interações na expressão fenotípica dos caracteres avaliados.

Na Tabela 1B estão apresentadas as médias fenotípicas referente à análise conjunta das progênies S_{0:2}, S_{0:3} e parentais, em Lavras e Itutinga nos anos agrícolas 2016/2017 e 2017/2018. Todas as progênies apresentaram produtividade de grãos maior que 63 scs.ha⁻¹, sendo as médias das progênies 21, 58, 49 e 54 superiores as médias de todos os parentais (TABELA 1B). Observa-se também, que todas as progênies apresentaram teor médio de óleo acima de 20%. Quanto aos teores de proteína, destaca-se a progênie 49, que apresentou percentual médio de proteína superior à 40% e bom desempenho em produtividade de grãos.

As análises multilocais das safras 2016/2017 e 2017/2018 estão apresentadas nas Tabelas 5 e 6. As estimativas de r_{gg} variaram de 83,19% (produtividade de grãos) a 99,32% (teor de proteína) na safra 2016/2017 e de 74,60% (produtividade de grãos) a 97,75% (teor de proteína) na safra 2017/2018. Por seu turno, o CV variou de 1,23% (teor de proteína) a

23,34% (produtividade de grãos) na safra 2016/2017 e de 1,65% (teor de proteína) a 22,93% (produtividade de grãos) na safra 2017/2018 (TABELAS 5 e 6).

Observou-se diferenças significativas para as fontes de variação de genótipos, locais e para a interação genótipos x locais para todos os caracteres avaliados, exceto para a interação genótipos x locais para o caráter produtividade de grãos na safra 2016/2017 (TABELAS 5 e 6). A contribuição relativa da interação genótipos x locais foi maior na safra 2017/2018 para todos os caracteres avaliados (TABELAS 5 e 6). É possível verificar também, que na safra 2016/2017, a maior contribuição relativa foi da fonte de variação de genótipos, R^2 de 66,75% e 66,05%, para os caracteres teor de óleo e teor de proteína, respectivamente. Já na safra 2017/2018, a maior contribuição relativa foi para a fonte de variação de locais, R^2 de 51,26% e 67,56%, para os caracteres teor de óleo e teor de proteína, respectivamente, denotando o efeito de anos agrícolas.

Tabela 5 – Resumo da análise de variância conjunta e contribuição relativa das fontes de variação de genótipos, locais e interação genótipos x locais para os caracteres produtividade de grãos (Prod.), teor de óleo (Óleo) e teor de proteína (Proteína). Dados referentes às progênies $S_{0:2}$ e parentais em Lavras, Itutinga e Nazareno no ano agrícola 2016/2017.

FV	GL	Prod. (scs.ha ⁻¹)		Óleo (%)		Proteína (%)	
		SQ	R ² (%)	SQ	R ² (%)	SQ	R ² (%)
Genótipos (G)	63	42407,29*	27,48	647,80*	66,75	1049,61*	66,05
Locais (L)	2	81786,70*	53,00	104,81*	10,80	257,78*	16,22
G x L	126	30130,33	19,52	217,92*	22,45	281,84*	17,73
Erro Médio		74823,37		152,32		128,75	
Média Geral			61,67		21,84		38,15
r_{gg} (%)			83,19		98,70		99,32
CV (%)			23,34		2,35		1,23

FV – fontes de variação; GL – graus de liberdade; SQ – soma de quadrado; R^2 – contribuição relativa das fontes de variação; r_{gg} – acurácia; CV – coeficiente de variação; * – significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 6 – Resumo da análise de variância conjunta e contribuição relativa das fontes de variação de genótipos, locais e interação genótipos x locais para os caracteres produtividade de grãos (Prod.), teor de óleo (Óleo) e teor de proteína (Proteína). Dados referentes às progêneses S_{0:3} e parentais em Lavras, Itutinga e Ijaci no ano agrícola 2017/2018.

FV	GL	Prod. (scs.ha ⁻¹)		Óleo (%)		Proteína (%)	
		SQ	R ² (%)	SQ	R ² (%)	SQ	R ² (%)
Genótipos (G)	24	12138,75*	24,88	91,42*	21,08	206,75*	12,66
Locais (L)	2	13658,97*	28,00	222,27*	51,26	1103,02*	67,56
G x L	48	22982,40*	47,12	119,89*	27,65	322,90*	19,78
Erro Médio		32293,89		91,50		86,20	
Média Geral		65,28		22,12		37,47	
r_{gg} (%)		74,60		94,51		97,75	
CV (%)		22,93		2,88		1,65	

FV – fontes de variação; GL – graus de liberdade; SQ – soma de quadrado; R² – contribuição relativa das fontes de variação; r_{gg} – acurácia; CV – coeficiente de variação; * – significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: Do autor (2019).

As análises multisafras para os locais Lavras e Itutinga estão apresentadas nas Tabelas 7 e 8. As estimativas de r_{gg} variaram de 90,21% (produtividade de grãos) a 99,04% (teor de proteína) em Lavras e de 78,85% (produtividade de grãos) a 98,69% (teor de proteína) em Itutinga. Por seu turno, o CV variou de 1,46% (teor de proteína) a 27,44% (produtividade de grãos) em Lavras e de 1,26% (teor de proteína) a 25,48% (produtividade de grãos) em Itutinga (TABELAS 7 e 8).

Tabela 7 – Resumo da análise de variância conjunta e contribuição relativa das fontes de variação de genótipos, safras e interação genótipos x safras para os caracteres produtividade de grãos (Prod.), teor de óleo (Óleo) e teor de proteína (Proteína). Dados referentes às progêneses S_{0:1}, S_{0:2}, S_{0:3} e parentais em Lavras nos anos agrícolas 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018.

FV	GL	Prod. (scs.ha ⁻¹)		Óleo (%)		Proteína (%)	
		SQ	R ² (%)	SQ	R ² (%)	SQ	R ² (%)
Genótipos (G)	24	31588,68*	31,18	124,64*	39,26	396,21*	40,94
Safras (S)	2	48255,11*	47,63	66,09*	20,82	349,36*	36,10
G x S	48	21459,54*	21,18	126,78*	39,93	222,25*	22,96
Erro Médio		26205,40		67,94		70,71	
Média Geral		77,05		21,92		38,18	
<i>r</i> _{gg} (%)		90,21		97,04		99,04	
CV (%)		27,44		2,50		1,46	

FV – fontes de variação; GL – graus de liberdade; SQ – soma de quadrado; R² – contribuição relativa das fontes de variação; *r*_{gg} – acurácia; CV – coeficiente de variação; * – significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 8 – Resumo da análise de variância conjunta e contribuição relativa das fontes de variação de genótipos, safras e interação genótipos x safras para os caracteres produtividade de grãos (Prod.), teor de óleo (Óleo) e teor de proteína (Proteína). Dados referentes às progêneses S_{0:2}, S_{0:3} e parentais em Itutinga nos anos agrícolas 2016/2017 e 2017/2018.

FV	GL	Prod. (scs.ha ⁻¹)		Óleo (%)		Proteína (%)	
		SQ	R ² (%)	SQ	R ² (%)	SQ	R ² (%)
Genótipos (G)	24	11237,36*	34,93	142,00*	62,24	215,92*	66,55
Safras (S)	2	15285,95*	47,52	25,24*	11,06	58,29*	17,96
G x S	48	5643,67	17,54	60,91*	26,70	50,26*	15,49
Erro Médio		16467,91		56,92		35,12	
Média Geral		60,16		21,76		38,33	
<i>r</i> _{gg} (%)		78,85		96,74		98,69	
CV (%)		25,48		2,83		1,26	

FV – fontes de variação; GL – graus de liberdade; SQ – soma de quadrado; R² – contribuição relativa das fontes de variação; *r*_{gg} – acurácia; CV – coeficiente de variação; * – significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: Do autor (2019).

Houve efeito significativo para as fontes de variação de genótipos, safras e para a interação genótipos x safras para todos os caracteres avaliados, exceto para a interação genótipos x safras para o caráter produtividade de grãos em Itutinga (TABELAS 7 e 8). A

contribuição relativa da interação genótipos x safras foi maior em Lavras para todos os caracteres avaliados (TABELAS 7 e 8).

5 DISCUSSÃO

De acordo com a análise de variância conjunta, diferenças significativas foram verificadas para a fonte de variação de genótipos para todos os caracteres avaliados, evidenciando assim, a existência de variabilidade genética entre os mesmos (TABELA 4). A existência de variabilidade genética é imprescindível para o sucesso dos programas de melhoramento genético de plantas, pois a seleção de indivíduos superiores é eficiente se realizada em variações herdáveis (BERNARDO, 2010; RAMALHO et al., 2012).

É imprescindível que os experimentos sejam conduzidos com alta precisão, permitindo assim, realizar inferências acuradas e obter estimativas confiáveis para os parâmetros avaliados (CARGNELUTTI FILHO et al., 2012). No presente estudo, a precisão foi aferida por meio do coeficiente de variação (CV) e da acurácia seletiva (r_{gg}). O coeficiente de variação é considerado baixo ou de alta precisão, quando inferior a 10%, médio ou de boa precisão de 10% a 20%, alto ou de baixa precisão de 20% a 30% e muito alto ou de baixíssima precisão quando superior a 30% (PIMENTEL GOMES, 2009). Por seu turno, as estimativas de acurácia seletiva podem ser consideradas de alta precisão quando superiores a 70%, de média precisão de 30% a 70%, e de baixa precisão quando inferiores a 30% (RESENDE; DUARTE, 2007).

A precisão foi afetada pelo caráter em questão, bem como pela estratégia de análise utilizada. As maiores estimativas de CV apresentadas para o caráter produtividade de grãos podem ser explicadas pela complexidade do controle genético do caráter em questão, como também pelos fatores inerentes ao ambiente em estudo. Espera-se que, quanto mais complexo seja o controle do caráter, maior a influência ambiental sobre ele e, portanto, mais elevadas serão as estimativas de CV e menores as estimativas de acurácia seletiva (RESENDE; DUARTE, 2007). É importante ressaltar que os valores preditos pela análise conjunta, envolvendo as duas safras (2016/2017 e 2017/2018) e os dois locais (Lavras e Itutinga), são mais precisos e informativos que os valores das demais análises, pois isola do componente genético, os efeitos ambientais.

Do ponto de vista do melhoramento genético de plantas é essencial obter estimativas que demonstrem a influência do ambiente sobre os caracteres de estudo, pois a variação fenotípica de cada tratamento genético depende, além do efeito genético em si, do efeito do ambiente e da interação genótipos x ambientes (G x A). A avaliação conjunta envolvendo

vários locais e safras, permitiu o desdobramento e estimação da variação das interações (TABELA 4). Devido à natureza quantitativa do controle genético dos caracteres avaliados, observou-se interações significativas para todos os caracteres avaliados (TABELA 4). Pela sua importância, o efeito da interação G x A tem sido reportado na literatura para a cultura da soja em Minas Gerais (BIANCHI, 2018; PEREIRA, 2017; SILVA et al., 2016; SOARES et al., 2015; VON PINHO, 2016), e reforçam os resultados obtidos neste estudo.

Verificou-se também, efeito significativo para as fontes de variação de locais e safras na expressão de todos os caracteres avaliados nas diferentes análises adotadas. Esse efeito ambiental se deve à combinação de fatores previsíveis e imprevisíveis (ALLARD; BRADSHAW, 1964), uma vez que os genótipos foram testados em dois anos agrícolas e em duas localidades da região Sul do estado de Minas Gerais.

A decomposição da soma de quadrados em seus componentes, considerando todas as safras e locais avaliados, possibilitou a estimação da contribuição relativa dos efeitos dos genótipos, safras, locais e interações de todos os caracteres avaliados (TABELA 4). O caráter que apresentou maior influência da interação G x A foi o teor de óleo (45,48%), e o caráter que apresentou a menor influência foi o teor de proteína (28,26%). Esse resultado denota a importância da avaliação de genótipos em diferentes localidades e safras.

Cabe ressaltar, que para todos os caracteres avaliados, a contribuição relativa do efeito genotípico foi maior que do efeito da interação G x A (TABELA 4). Esse resultado demonstra que na expressão fenotípica há maior influência de fatores de natureza genética. Na literatura há outros trabalhos realizados para a cultura da soja, nos quais a contribuição relativa do efeito genotípico também foi maior que a do efeito da interação G x A (SUDARIĆ; ŠIMIĆ; VRATARIĆ, 2006; ZHE et al., 2010). Também, no Sul de Minas Gerais, foi observado maior contribuição relativa do efeito do genótipo para os teores de óleo e proteína na cultura da soja (GESTEIRA et al., 2018).

Uma informação importante nesse tipo de experimento, é comparar a contribuição relativa das interações genótipos x locais (G x L) e genótipos x safras (G x S), uma vez que essas possibilitam inferir a respeito das melhores estratégias a serem adotadas no futuro, nos programas de melhoramento. Observou-se que para os caracteres produtividade de grãos e teor de proteína, a contribuição relativa da interação G x L foi maior que da interação G x S, porém foi significativa apenas para o teor de proteína (TABELA 4). Yan e Rajcan (2003) estudando o desempenho de cultivares de soja, concluíram que o estudo em múltiplos locais

em um único ano foi suficiente para selecionar genótipos superiores e descartar genótipos inferiores. Além disso, Toledo et al. (2006) também verificaram que o efeito de locais teve maior impacto sobre a produtividade de grãos de soja do que o efeito de safras. Assim, na avaliação desses caracteres, em especial para o teor de proteína, a avaliação em um maior número de locais em detrimento de um maior número de safras deve ser preferida, fazendo com que haja uma melhor estimativa das respostas dos genótipos nos ambientes.

Já para o caráter teor de óleo a contribuição relativa da interação G x S foi maior que da interação G x L (TABELA 4). Para o teor de óleo, a otimização dos experimentos e, conseqüentemente, dos recursos, deve ser no sentido de avaliar o caráter em um maior número de safras. Rocha et al. (2002), estudando a magnitude da interação genótipos x ambientes para o caráter teor de óleo em linhagens de soja, verificou que a interação G x S foi a que mais contribuiu para a interação genótipos x ambientes. A maior magnitude da interação associada a safras sugere que os fatores imprevisíveis de safras (temperatura, umidade relativa, pluviosidade) contribuíram mais que os fatores previsíveis de locais (tipo de solo, topografia) para a interação genótipos x ambientes.

Quando as interações de safras x locais são significativas, como no presente estudo, para todos os caracteres (TABELA 4), o zoneamento agrônômico não se mostra uma estratégia efetiva para manejar a interação genótipos x ambientes (ROCHA et al., 2009).

As diferenças significativas observadas para as fontes de variação das interações G x L e G x S nas análises multilocais e multisafras, respectivamente, evidenciam as diferenças ambientais entre os locais e as safras avaliadas, bem como o comportamento não coincidente entre os genótipos nos locais e nas safras avaliadas (Tabelas 5, 6, 7 e 8). Possivelmente, as diferenças entre os locais avaliados são devido, principalmente, às diferenças na fertilidade do solo e época de semeaduras. Já as diferenças entre as safras são devido, principalmente, às distribuições pluviométricas, temperatura e fatores bióticos (FIGURAS 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7). Fehr (1987) postula que as variáveis imprevisíveis são as que mais contribuem para as interações genótipos x safras.

5 CONCLUSÕES

Para todos os caracteres avaliados, a contribuição relativa do efeito genotípico foi maior que do efeito da interação G x A. Assim, na expressão fenotípica, há maior influência de fatores de natureza genética.

Para o caráter teor de proteína, a avaliação em um maior número de locais em detrimento de um maior número de safras é relativamente mais importante. Por seu turno, para o caráter teor de óleo, a otimização dos experimentos deve ser no sentido de avaliar o caráter em um maior número de safras em detrimento de um maior número de locais.

REFERÊNCIAS

- ALLARD, R. W.; BRADSHAW, A. D. Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. **Crop Science**, v. 4, n. 5, p. 503-508, 1964.
- BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. 2. ed. Woodbury, Minnesota: Stemma Press, 2010. 400 p.
- BIANCHI, M. C. **Implicações da interação genótipos por ambientes na seleção de progênies de soja**. 2018. 63 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.
- BORÉM, A. **Hibridação artificial de plantas**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2009. 625 p.
- CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Medidas de precisão experimental e número de repetições em ensaios de genótipos de arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 3, p. 336-343, 2012.
- FEHR, W. R. **Principles of cultivar development - theory and technique**. New York, USA: Macmillan Publishing Company, 1987. 536 p.
- GESTEIRA, G. S. et al. Selection of Early Soybean Inbred Lines Using Multiple Indices. **Crop Science**, v. 58, n. 6, p. 2494-2502, 2018.
- HEIL, C. **Rapid, multi-component analysis of soybeans by FT-NIR spectroscopy**, Madison, WI USA, 2019. Disponível em: < <http://www.nicoletcz.cz/upload/kc/files/aplikacni-podpora/nir/soybeans.pdf> >. Acesso em: 15 jul. 2019.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**, Brasília, DF, 2019. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep> >. Acesso em: 15 jun. 2019.
- JUHÁSZ, A. C. P.; CIABOTTI, S.; TEIXEIRA, L. C. A. A. Breeding for nutritional quality. In: LOPES DA SILVA, F. et al. (Ed.). **Soybean breeding**: Springer International Publishing, 2017. p. 375-393.
- PEREIRA, D. R. **Interação genótipos x ambientes e implicações na associação entre caracteres em soja**. 2017. 64 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.
- PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: ESALQ, 2009. 451 p.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2018. Disponível em: < <https://www.R-project.org/> >. Acesso em: 16 jun. 2019.

RAMALHO, M. A. P. et al. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: UFLA, 2012. 522 p.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.

ROCHA, M. D. M. et al. Estabilidade e adaptabilidade produtiva em linhagens de soja de ciclo médio. **Revista Ceres**, v. 56, n. 6, p. 764-771, 2009.

ROCHA, M. D. M. et al. Magnitude da interação genótipos x ambientes para o caráter teor de óleo em linhagens de soja. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 6, n. 3, p. 617-625, 2002.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A Cluster Analysis Method for Grouping Means in the Analysis of Variance. **Biometrics**, v. 30, n. 3, p. 507-512, 1974.

SILVA, K. B. et al. Adaptability and phenotypic stability of soybean cultivars for grain yield and oil content. **Genetics and Molecular Research**, v. 15, n. 2, p. 1-11, 2016.

SOARES, I. O. et al. Adaptability of soybean cultivars in different crop years. **Genetics and Molecular Research**, v. 14, n. 3, p. 8995-9003, 2015.

SUDARIĆ, A.; ŠIMIĆ, D.; VRATARIĆ, M. Characterization of genotype by environment interactions in soybean breeding programmes of southeast Europe. **Plant Breeding**, v. 125, n. 2, p. 191-194, 2006.

TOLEDO, J. F. F. et al. Genotype and environment interaction on soybean yield in Mato Grosso State, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 5, p. 785-791, 2006.

VON PINHO, I. V. **A interação dos genótipos x ambientes na cultura da soja e o risco na recomendação de novas linhagens**. 2016. 133 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Planta) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

YAN, W.; RAJCAN, I. Prediction of cultivar performance based on single- versus multiple-year tests in soybean. **Crop Science**, v. 43, n. 2, p. 549-555, 2003.

ZHE, Y. et al. Effects of genotype × environment interaction on agronomic traits in soybean. **Crop Science**, v. 50, n. 2, p. 696-702, 2010.

APÊNDICE B

Tabela 1B – Tabela de médias fenotípicas conjuntas para os caracteres produtividade de grãos (Prod.), teor de óleo (Óleo) e teor de proteína (Proteína). Dados referentes às progêneses S_{0:2} e S_{0:3} e parentais nos anos agrícolas 2016/2017 e 2017/2018.

Progênes	Prod. (scs.ha⁻¹)	Óleo (%)	Proteína (%)
21	77,01 a	21,76 d	37,88 e
58	75,07 a	21,75 d	39,13 b
49	72,83 a	20,59 f	40,36 a
54	72,81 a	21,32 d	39,46 b
5G 830 RR*	71,91 a	22,24 c	36,82 f
78	71,88 a	21,09 e	39,22 b
64	71,20 a	21,63 d	38,64 c
NK 7074 RR*	70,50 a	21,65 d	39,27 b
BRS FAVORITA RR*	68,56 a	21,19 d	38,59 c
51	68,10 a	21,42 d	39,13 b
52	67,57 a	21,46 d	39,01 b
46	66,68 a	22,12 c	38,58 c
57	65,93 a	20,71 f	40,08 a
BMX Força RR*	65,76 a	21,63 d	39,05 b
2	64,51 a	23,56 a	36,66 f
V-TOP RR*	64,10 a	22,33 c	37,85 e
45	63,77 a	20,50 f	40,20 a
CD 237 RR*	61,48 a	22,78 b	38,09 d
CD 2630 RR*	58,80 b	21,44 d	38,51 c
CD 215 RR*	57,23 b	21,47 d	37,60 e
M 7908 RR*	57,04 b	22,02 c	38,16 d
TMG 7161 RR*	51,74 b	22,16 c	38,28 d
CD 250 RR*	49,43 b	20,95 e	40,34 a
5D 690 RR*	48,51 b	22,61 b	36,45 f
NA 5909 RG*	43,03 b	21,44 d	38,51 c

* – valores referentes aos parentais; médias seguidas pela mesma letra na coluna pertencem ao mesmo grupo pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).