



DYANNA RANGEL PEREIRA

**INTERAÇÃO GENÓTIPOS X AMBIENTES E IMPLICAÇÕES
NA ASSOCIAÇÃO ENTRE CARACTERES EM SOJA**

**LAVRAS - MG
2017**

DYANNA RANGEL PEREIRA

**INTERAÇÃO GENÓTIPOS X AMBIENTES E IMPLICAÇÕES NA ASSOCIAÇÃO
ENTRE CARACTERES EM SOJA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Adriano Teodoro Bruzi

Orientador

Prof. Dr. José Airton Rodrigues Nunes

Coorientador

LAVRAS - MG

2017

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

Pereira, Dyanna Rangel.

Interação genótipos x ambientes e implicações na associação
entre caracteres em soja / Dyanna Rangel Pereira. - 2017.

64 p.

Orientador: Adriano Teodoro Bruzi.

Coorientador: José Airton Rodrigues Nunes.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. *Glycine max*. 2. Análise de trilha. 3. Índice de seleção. I.
Bruzi, Adriano Teodoro. II. Nunes, José Airton Rodrigues. III.
Título.

*Aos meus pais Maristela e Célio e ao meu companheiro Rodrigo, pelo apoio em todos os momentos, tornando possível esta conquista.
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter guiado e iluminado cada passo meu, até que eu chegasse aqui.

Aos meus pais, Maristela e Célio, e à minha irmã, Luana, por toda ajuda, companheirismo e incentivo em todas as fases dessa minha formação pessoal e profissional.

Ao meu namorado, Rodrigo, por sempre me mostrar que eu seria capaz, pelo amor, companheirismo e por ser a pessoa com quem amo partilhar a vida.

Aos meus orientadores, Dr. Adriano Teodoro Bruzi e Dr. José Airton Rodrigues Nunes, pelos ensinamentos, paciência, empenho e profissionalismo.

Aos demais professores do curso e funcionários que contribuíram para a minha formação e para a realização deste.

Aos meus amigos e colegas de mestrado e do Grupo Pesquisa Soja, pela amizade, momentos de descontração e apoio na condução dos experimentos.

À Universidade Federal de Lavras e ao programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, pela oportunidade concedida e estrutura disponível para a realização do trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

E a todos que contribuíram de alguma forma para a conclusão desse processo.

Muito obrigada!

RESUMO

A análise de trilha auxilia no entendimento das relações entre um conjunto de caracteres e uma variável principal. Todavia, a interação genótipos x ambientes (GA) pode alterar o padrão ou magnitude das correlações entre caracteres quantitativos, o que pode influenciar o processo de seleção, principalmente na seleção indireta e/ou na seleção para múltiplos caracteres por meio de índices. Dessa forma, objetivou-se, neste estudo, mensurar o efeito da interação GA na associação entre caracteres agrônômicos relacionados à produtividade de grãos em soja, no que concerne aos efeitos diretos e indiretos obtidos na análise de trilha, bem como avaliar sua implicação na seleção para múltiplos caracteres. Os experimentos foram conduzidos nos anos agrícolas de 2014/15 e 2015/16 em três municípios do estado de Minas Gerais, utilizando o delineamento de blocos completos casualizados com 35 cultivares comerciais. Foram avaliados os caracteres número de grãos, número de legumes, número de grãos por legume, produtividade de grãos, peso de 100 grãos, acamamento, altura da planta, altura de inserção do primeiro legume e maturação absoluta. Foram realizadas as análises de variância individuais (local e ano agrícola), bem como as análises conjuntas por local ou ano agrícola e a análise conjunta geral, envolvendo todos os locais e anos agrícolas. Em todos os casos, procedeu-se à análise de trilha. Para a seleção simultânea dos caracteres, foi empregado o índice da soma de postos, utilizando como pesos as estimativas das correlações e dos efeitos diretos das características explicativas sobre o caráter principal, no caso produtividade de grãos. Foi calculada a eficiência da seleção por meio da coincidência entre os ranqueamentos das cultivares com base na produtividade de grãos e com base no índice de seleção. O efeito da interação GA foi expressivo para todos os caracteres. Para a produtividade de grãos foi observado que 31,7% da variação fenotípica é atribuída à interação GA. As correlações entre produtividade de grãos e os demais caracteres, assim como seus desdobramentos em efeitos diretos e indiretos apresentaram expressiva alteração quanto à magnitude e sentido considerando as análises individuais e multiambientais, retratando a influência da interação GA. Os maiores valores de correlação positiva e significativa com a produtividade de grãos foram observados para os caracteres altura de inserção do primeiro legume e maturação absoluta. Os maiores valores dos efeitos diretos sobre produtividade de grãos foram observados para a maturação absoluta e inserção do primeiro legume, assim como peso de 100 grãos e altura de plantas. Ao comparar o ranqueamento das cultivares pela produtividade e pelo índice, considerando diferentes pesos econômicos, observa-se grande semelhança entre a classificação das linhagens com base na produtividade e pelo índice que utiliza o efeito direto como peso econômico. Verificou-se que o uso do efeito direto pode ser mais eficiente na seleção de cultivares superiores quando comparado ao uso da correlação simples entre caracteres. Assim, dada a influência da interação GA, o emprego de pesos relativos, a exemplo do efeito direto, constitui uma estratégia recomendável para fins de seleção para múltiplos caracteres.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) Merrill. Correlação. Análise de trilha. Índice de seleção.

ABSTRACT

The path analysis aids in understanding the relations between a set of traits and a principle variable. However, genotype x environment interactions (GE) can alter that pattern or magnitude of the correlations between quantitative traits, which can influence selection process, especially indirect selection and/or selection for multiple traits through indexes. Thus, this study aimed at measuring the effect of the GE interaction in the association between agronomic traits related to soybean productivity, concerning the direct and indirect effects obtained with the path analysis. Its implication in the selection for multiple traits was also evaluated. The experiments were conducted in the agricultural years of 2014/15 and 2015/16, in three municipalities of the state of Minas Gerais, Brazil, using a completely randomized blocks design, with 35 commercial cultivars. The traits evaluated were number of grains, number of legumes, number of grains per legume, grain productivity, weight of 100 grains, lodging, plant height, height of the insertion of the first legume, and absolute maturation. Individual analysis of variance (local and agricultural year), as well as joint analysis per location and agricultural year, and general joint analysis involving all locations and agricultural years, were performed. Path analysis was done in all cases. For simultaneous trait selection, the sum of post index was employed using as importance, in the case of grain productivity, the correlation estimates and estimates of the direct effects of the explanatory traits over the main trait. Selection efficiency was calculated through the coincidence between cultivar rankings based on grain productivity and the selection index. The effect of GE interaction was expressive for all traits. For grain productivity, 31.7% of phenotypical variation was attributed to GE interaction. The correlation between grain productivity and the remaining traits, as well as its ramifications in direct and indirect effects, presented expressive change regarding magnitude and direction, considering individual and multi-environmental analyses, depicting the influence of GE interaction. The highest values of positive and significant correlation with grain productivity were observed for height of insertion of the first legume, and absolute maturation. The highest values of the direct effects over grain productivity were verified for absolute maturation and insertion of the first legume, as well as for weight of 100 grains and plant height. When comparing cultivar ranking with productivity and index, considering different economic importance, great similarity was verified between line classification based on productivity and on the index that uses the direct effect as economic importance. The use of the direct effect can be more efficient in selecting superior cultivars when compared to the use of simple correlation between cultivars. Thus, given the GE interaction, the employment of relative importance, as occurred with the direct effect, constitutes a recommendable strategy for the selection of multiple traits.

Keywords: *Glycine max* (L.) Merrill. Correlation. Path analysis. Selection index.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1	Aspectos morfoagronômicos da cultura da soja	11
2.1.1	Caracteres fenológicos e morfológicos	11
2.1.2	Caracteres agrônômicos	13
2.2	Seleção para múltiplos caracteres em soja	14
2.3	Interação genótipos por ambientes e sua implicação na associação de caracteres 17	
2.4	Emprego da análise de trilha no melhoramento de plantas	18
3	MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1	Descrição dos experimentos	22
3.2	Cultivares	25
3.3	Condução dos experimentos	25
3.4	Caracteres avaliados	26
3.5	Análise estatística dos dados	27
3.6	Análise de trilha	28
3.7	Estimação do índice de seleção	30
4	RESULTADOS	32
5	DISCUSSÃO	43
6	CONCLUSÕES	47
	REFERÊNCIAS	48
	APÊNDICE A - TABELAS	54

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da produção e o aumento da capacidade competitiva da soja brasileira estão altamente relacionados com os avanços científicos e tecnológicos obtidos e disponibilizados ao setor produtivo. Grande parte desses avanços é decorrente do melhoramento genético, o qual tem como objetivo principal a obtenção de cultivares que associem maior produtividade de grãos, bem como resistência às principais pragas e patógenos, além de arquitetura de planta adequada às práticas de manejo (RAMALHO et al., 2012b).

A produtividade de grãos é resultante da expressão e associação de diferentes componentes, pois é influenciada por diversos caracteres fisiológicos, morfológicos e agronômicos, sendo, portanto, um atributo complexo. O conhecimento sobre o grau de associação entre caracteres utilizando a correlação é de grande importância para o melhoramento, uma vez que a seleção de determinado caráter pode influenciar positiva ou negativamente em outro, sendo possível identificar caracteres que podem ser utilizados na seleção indireta para produtividade grãos (CARVALHO et al., 2002). Existem relatos na literatura (LEITE et al., 2015; PELUZIO et al., 2005; PIPOLO et al., 2015; RODRIGUES et al., 2010; SILVA et al., 2016; TAJUDDIN, 2003) que evidenciam que na cultura da soja, por exemplo, tem-se associação positiva entre a produtividade de grãos e teor de óleo, número de legumes por planta e maior altura de planta e negativa entre teores de óleo e proteína, assim como entre teor de proteína e produtividade de grãos.

Apesar da correlação simples entre caracteres retratar informação relevante, é útil e necessário ao melhorista pormenorizar o grau de relacionamento dos caracteres, por meio de método apropriado, a exemplo da análise de trilha (WRIGHT, 1921). Esse método permite quantificar os efeitos diretos e indiretos dos caracteres componentes explicativos sobre o caráter de maior interesse (CRUZ, 2006). Essa análise tem sido empregada na cultura da soja em várias oportunidades (BIZETI et al., 2004; CHAVAN et al., 2016; GHODRATI et al., 2013; NOGUEIRA et al., 2012; SILVA et al., 2015; TEODORO et al., 2015). Contudo, nos relatos reportados na literatura, não se identificaram estudos que tenham quantificado a influência da interação genótipos x ambientes (GA) na análise de trilha.

Deve-se destacar que a interação GA tem demonstrado grande influência em caracteres complexos, como a produtividade de grãos, fato que pode ser explicado pelo seu efeito sobre caracteres componentes da produção. Assim, a interação GA pode exercer importante influência na associação entre caracteres, o que pode prejudicar o processo de

seleção, principalmente quando se trata da seleção indireta e da seleção para múltiplos caracteres, o que, em último caso, vem a dificultar a recomendação de cultivares adaptadas a diferentes ambientes (AZEVEDO FILHO; VELLO; GOMES, 1998).

Para a prática da seleção simultânea de caracteres, a abordagem de análise multivariada é a mais condizente e justificada estatisticamente. Contudo, existem dificuldades para realização dessa análise com um grupo relativamente grande de variáveis. Outra alternativa para a seleção de múltiplos caracteres se refere aos índices de seleção, os quais têm sido empregados em algumas ocasiões na cultura da soja (BÁRBARO et al., 2007; BIZARI et al., 2017; SOARES et al., 2015). A predileção dos melhoristas, em geral, é por índices de fácil aplicação e interpretação, a exemplo do índice da soma de postos (MULAMBA; MOCK, 1978). Todavia, uma questão pendente se refere à dificuldade de especificar os pesos econômicos para cada caráter no índice de seleção (LIN, 1978). Em geral, os melhoristas não têm os pesos econômicos plenamente determinados. Com isso, propostas de variados pesos alternativos têm sido encontradas na literatura. Cruz (1990) sugere o uso do coeficiente de variação genético. Para Resende (2007), o emprego de pesos calculados com base na correlação entre caracteres explicativos e o caráter básico de interesse é mais apropriado. Seguindo raciocínio semelhante, dispendo-se do desdobramento da correlação simples pela análise de trilha, outra possibilidade é calcular esses pesos em função dos efeitos diretos.

Assim, objetivou-se mensurar o efeito da interação GA na associação entre caracteres agronômicos relacionados à produtividade de grãos em soja, no que concerne aos efeitos diretos e indiretos obtidos na análise de trilha, bem como avaliar sua implicação na seleção para múltiplos caracteres.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aspectos morfoagronômicos da cultura da soja

2.1.1 Caracteres fenológicos e morfológicos

Em sua forma cultivada, a soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é pertencente à família Fabaceae, subfamília Faboideae, tribo Phaseoleae, subtribo Glycininae, gênero *Glycine* e espécie *Glycine max* (MATSUO; FERREIRA; SEDIYAMA, 2015).

A soja cultivada difere em diversos aspectos de seus ancestrais, espécies de plantas rasteiras que se desenvolviam na costa leste da Ásia (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2004), e hoje apresenta ampla variabilidade genética e morfológica, em razão do grande número de cultivares existentes. Tais cultivares são provenientes de programas de melhoramento genético, objetivando plantas altamente produtivas, resistentes a pragas e doenças e adaptadas a diferentes condições edafoclimáticas (NOGUEIRA et al., 2009; VERNETTI, 1983).

A planta de soja é anual, com desenvolvimento relativamente rápido, de forma que desde a emergência até a sua completa maturação (estádio R8) são necessários 70 dias para as cultivares mais precoces, e até mais de 200 dias para as mais tardias. Porém, dentro da mesma cultivar, esse período pode variar de acordo com a latitude, altitude, temperatura e época de semeadura (SILVA, 2015). A maioria das cultivares adaptadas às condições brasileiras apresenta ciclo em torno de 90 a 130 dias. Cultivares muito precoces geralmente apresentam porte muito baixo, sendo, então, colhidas manualmente, e são menos produtivas, em decorrência do menor período de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo no campo. Porém, essas cultivares têm a vantagem de possibilitar uma segunda safra na mesma área. Já as cultivares de ciclo muito longo atingem maiores alturas, podendo apresentar elevado grau de acamamento (SILVA et al., 2015).

Em relação ao fotoperíodo, a soja é considerada uma planta de dias curtos, porém, as cultivares de soja variam quanto à exigência de um mínimo crítico de ausência de luz, para que ocorra a indução ao florescimento. O período juvenil é o tempo compreendido entre a emergência da planta e o dia em que ela estiver apta a receber o estímulo floral. As plantas de soja podem ser de período juvenil longo ou curto. Aquelas de período juvenil curto podem crescer quase que indefinidamente, se os dias forem longos, ou florescer em menos de um mês, se os dias forem suficientemente curtos, resultando em plantas menores e com baixo rendimento. Existem, por outro lado, cultivares que apresentam período juvenil longo, ou seja,

sua fase juvenil é insensível ao fotoperíodo mesmo em condições de dias curtos e baixas latitudes. Essa característica foi introduzida no Brasil, por meio de melhoramento genético e é capaz de retardar a floração (BARROS; SEDIYAMA, 2009; MATSUO; FERREIRA; SEDIYAMA, 2015).

A soja é uma planta tipicamente herbácea, com hábito de crescimento ereto a prostrado e altura da planta de 30 a 250 cm. Seu sistema radicular é constituído por raiz principal e secundária, em que a raiz principal é fracamente desenvolvida. Suas folhas são trifolioladas alternas, com folíolos de formato oval, lanceolado ou elíptico (MATSUO; FERREIRA; SEDIYAMA, 2015).

As flores são completas, brancas ou púrpura, localizadas em racemos curtos axilares e/ou terminais. A abertura floral ocorre pela manhã e é influenciada pelas condições de temperatura e umidade. A cleistogamia, ou seja, a polinização do estigma antes da abertura da flor é responsável pela baixa taxa de alogamia, sendo, portanto, uma espécie autógama (SEDIYAMA; TEIXEIRA; REIS, 1999).

Os legumes maduros possuem coloração variada, são achatados, pubescentes, deiscentes, retos ou ligeiramente curvados, contendo cada um de um a cinco grãos, em média, e o número de legumes por inflorescência é de dois a mais de 20 e acima de 400 por planta (MATSUO; FERREIRA; SEDIYAMA, 2015; NOGUEIRA et al., 2009). As cultivares brasileiras produzem, em média, de 30 a 80 legumes por planta, com dois a três grãos por legume, dependendo do ambiente e manejo adotado (MATSUO; FERREIRA; SEDIYAMA, 2015).

O grão possui variações quanto a forma, tamanho, cor do tegumento, cor do hilo e cor dos cotilédones. O peso por 100 grãos varia de dois a 30 g (NOGUEIRA et al., 2009; SEDIYAMA; TEIXEIRA; REIS, 1999; VERNETTI, 1983).

O caule é do tipo herbáceo, ereto, pubescente e ramificado e seu desenvolvimento terminal é dependente do tipo de crescimento da planta. Em cultivares de crescimento determinado e semideterminado, ocorre a transformação da gema terminal em uma inflorescência terminal e o crescimento vegetativo da planta é geralmente paralisado após o florescimento, sendo que a maturação dos legumes se dá de cima para baixo. Em cultivares de crescimento indeterminado, não há transformação da gema terminal e o caule continua seu desenvolvimento mesmo após o florescimento, de forma que a maturação dos legumes se inicia na parte inferior da planta (MÜLLER, 1981; NOGUEIRA et al., 2009).

Diversos fatores externos que ocorrem durante o ciclo da planta de soja podem favorecer ou prejudicar a produção final. As respostas das plantas a esses fatores ambientais

dependem do estágio de desenvolvimento (CÂMARA, 1998). Além disso, a caracterização dos estádios de desenvolvimento é imprescindível para o estabelecimento de um eficiente sistema de produção e avaliação de caracteres (MATSUO; FERREIRA; SEDIYAMA, 2015).

A metodologia de descrição dos estádios de desenvolvimento da soja, proposta por Fehr e Calviness (1977), é a mais difundida e utilizada no mundo, e divide os estádios de desenvolvimento da soja em estádios vegetativos e estádios reprodutivos. Os estádios vegetativos são descritos utilizando-se a letra “V” seguida de uma numeração, exceto para o estágio de emergência (Ve) e o cotiledonar (Vc). O estágio vegetativo se inicia no período de emergência da plântula (Ve) e dura até que se inicie a floração. A caracterização dos estádios vegetativos que sucedem Vc é feita com base no último nó (superior) da haste com uma folha completamente desenvolvida. Os estádios reprodutivos descrevem detalhadamente o período florescimento-maturação e são denominados pela letra “R” seguida de numeração. São caracterizados oito estádios compreendidos em quatro fases de desenvolvimento: florescimento (R₁ e R₂), desenvolvimento do legume (R₃ e R₄), desenvolvimento do grão (R₅ e R₆), e maturação da planta (R₇ e R₈), avaliadas na haste principal (MATSUO; FERREIRA; SEDIYAMA, 2015; VERNETTI, 1983).

2.1.2 Caracteres agronômicos

A obtenção de uma produtividade economicamente viável é uma das características mais importantes no cultivo de soja, juntamente com a estabilidade de produção nos diferentes ambientes onde é cultivada. A produtividade de grãos é uma característica de alta complexidade, resultante da expressão e associação de diferentes caracteres, além de ser altamente influenciada pelo ambiente. Em razão do componente ambiental e à interação apresentada pelas cultivares em diferentes ambientes, a produtividade é um caráter quantitativo de baixa herdabilidade, o que dificulta a avaliação do potencial produtivo dos diversos genótipos (ALMEIDA; KIIHL, 1998).

Diferentes caracteres primários e secundários têm efeito direto ou indireto no rendimento de grãos de soja. Podem ser citados como caracteres primários, o número de plantas por área, o número de legumes por planta, o número de grãos por legume e o peso do grão. O número de plantas por área é o componente que apresenta maior possibilidade de controle por meio do manejo. O número de legumes por planta é dependente da quantidade de flores produzidas e fixadas no período reprodutivo da planta, e é o componente mais importante quando se busca aumento no rendimento, já que possui grande variação. Já o número de grãos por legume é o componente que apresenta menor variação em diferentes

formas de cultivo, de maneira que as cultivares apresentam normalmente de um a três grãos por legume. O peso, ou tamanho do grão é característico de cada cultivar, porém, também pode ser influenciado pelas condições ambientais e de manejo da cultura (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005).

Como componentes secundários, diversas características morfológicas e anatômicas podem ser citadas, como a distribuição de vasos condutores, número de nós e a quantidade de ramificações, além de características fisiológicas, como a taxa fotossintética. Entretanto, estes caracteres têm influência sobre os componentes primários, sendo então, medidos indiretamente por meio deles (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005).

A altura da planta e da inserção do primeiro legume têm efeitos sobre diversos fatores ligados à produtividade, como o controle de plantas daninhas, o acamamento de plantas e eficiência na colheita mecanizada (SEDIYAMA; TEIXEIRA; BARROS, 2009). Ambas as características podem ser influenciadas tanto por fatores genéticos quanto ambientais, podendo variar de 30 a 250 cm para altura de planta e de 5 a 30 cm para altura do primeiro legume (MATSUO; FERREIRA; SEDIYAMA, 2015). A altura de planta mínima desejável para uma eficiente colheita mecanizada em solos de topografia plana é de 50 a 60 cm. Plantas muito acima de 100 cm tendem ao acamamento, além de tenderem a produzir menos e dificultar a eficiência das colhedoras. Para a altura do primeiro legume, é desejável que esta esteja, pelo menos, de 10 a 12 cm acima da superfície do solo quando se tratar de topografia plana, para que não haja perdas na colheita (SEDIYAMA; TEIXEIRA; REIS, 1999).

O acamamento de plantas é uma característica agrônômica influenciada pelo genótipo e por diversos fatores ambientais, que podem ocasionar perdas de grãos durante a colheita mecanizada. Plantas altas e/ou com caule muito fino tendem ao acamamento. Entretanto, as cultivares de caule excessivamente grosso, mesmo na maioria das vezes apresentando alta produtividade, não são ideais, pois dificultam a colheita mecanizada (SEDIYAMA; TEIXEIRA; REIS, 1999). O grau de resistência ao acamamento pode ser avaliado visualmente, por meio de uma escala de notas que varia de 1 a 5, em que 1 corresponde a quase todas as plantas eretas e 5, todas as plantas acamadas (SEDIYAMA; TEIXEIRA; BARROS, 2009).

2.2 Seleção para múltiplos caracteres em soja

Os programas de melhoramento têm como objetivo principal a obtenção de cultivares que acumulem vantagens e sejam capazes de superar aquelas já existentes no mercado, ou seja, cultivares que reúnam, simultaneamente, fenótipos favoráveis para diversos caracteres de

interesse. Dentre esses caracteres, pode-se destacar, além da produtividade, a resistência ou tolerância a pragas e patógenos, o uso eficiente de água e nutrientes, assim como a arquitetura da planta, visando a facilitar o manejo (RAMALHO et al., 2012b). Assim, a seleção baseada apenas em uma ou poucas características se torna inadequada, já que conduz a um produto final superior somente em relação aos caracteres para os quais foi selecionado (CRUZ; REGAZZI, 1997).

A seleção de múltiplos caracteres pode ser um grande desafio, já que os caracteres de interesse são, em geral, quantitativos, ou seja, apresentam controle genético complexo e são altamente influenciados pelo ambiente (BACKES et al., 2002). Ademais, frequentemente, alguns caracteres são correlacionados, muitas vezes em direções opostas, além de nem todos os caracteres apresentarem a mesma importância (RAMALHO et al., 2012b).

O grau de associação entre duas variáveis, o qual é medido pela correlação, pode ser positivo ou negativo, indicando se as variáveis analisadas variam conjuntamente na mesma direção ou em direções opostas, respectivamente. Os valores de correlação podem variar de -1 a +1, de forma que quanto mais próxima de -1 ou +1, mais fortemente associadas estão as variáveis (RAMALHO et al., 2012b).

A correlação entre caracteres pode ser fenotípica, genética e/ou ambiental. A causa da correlação genética pode ser, principalmente, a pleiotropia, sendo, portanto, permanente, e não se alterando com o avanço das gerações. Há também a correlação causada por ligações gênicas, de forma que sua magnitude, nesse caso, depende da distância entre os genes nos cromossomos, além de poder ser positiva ou negativa, de acordo com a presença de alelos favoráveis ou desfavoráveis nos genes ligados. Entretanto, a correlação devida à ligação gênica é transitória, pois depende do desequilíbrio de ligação, pois quando o equilíbrio é atingido, a correlação será nula (CRUZ, 2001; RAMALHO et al., 2012b).

A correlação que é diretamente mensurada a partir de medidas de caracteres em indivíduos de uma população é a correlação fenotípica, a qual tem causas genéticas e ambientais. Contudo, somente as causas genéticas estão relacionadas a uma associação de natureza herdável, podendo assim, ser utilizada em programas de melhoramento genético (CRUZ, 2001).

O estudo de correlações entre características agrônômicas contribui para a identificação de caracteres de fácil avaliação que possam ser utilizados na seleção indireta de caracteres quantitativos, os quais, normalmente, apresentam baixa herdabilidade e difícil seleção visual, aumentando, assim, a eficiência de seleção em programas de melhoramento (ALMEIDA; PELUZIO; AFFERRI, 2010; CRUZ, 2001).

Para realizar a seleção simultânea, deve-se considerar que esses caracteres podem ser correlacionados, de forma que a seleção em um deles pode levar a alterações, desejáveis ou não, em outros (SOUZA JÚNIOR, 2001). Além disso, correlações altas entre caracteres primários e secundários não são tão comuns e problemas de amostragem ou de experimentação podem levar a estimativas de correlação inconsistentes. Assim, a resposta correlacionada é uma alternativa à seleção direta, porém, segundo Falconer e Mackay (1996), a combinação dessas duas metodologias é a forma mais eficiente para a obtenção de ganhos genéticos, pois com a seleção simultânea dos caracteres que contribuem positivamente para o caráter desejado o uso da correlação entre caracteres é mais efetivo.

Uma das metodologias utilizadas para realizar a seleção de múltiplos caracteres e contornar possíveis dificuldades ligadas às correlações é o uso de índices de seleção. O índice permite combinar as diversas informações dos caracteres avaliados, escolhidos pelo pesquisador e sobre os quais se deseja realizar a seleção simultânea, obtendo um único valor que envolve todos os demais e funciona como um caráter adicional (CRUZ; CARNEIRO, 2006).

O índice de seleção consiste em uma função linear das diferentes características avaliadas, sendo possível atribuir diferentes pesos em função da importância da característica (RAMALHO et al., 2012b). Dentre as várias opções de índices de seleção, o índice da soma de postos (ISP), proposto por Mulamba e Mock (1978), tem como base o interesse do melhorista em proceder à seleção de acordo com a classificação ou ordenamento das progênes para os múltiplos caracteres. O princípio desse índice consiste na transformação, em postos ou “ranks”, das médias fenotípicas ajustadas dos genótipos para cada caráter avaliado. O posto ou “rank” se refere à posição ou ordem depois de efetuado o ordenamento. A partir dos postos das progênes para cada característica, é feita a soma desses por genótipo, obtendo-se os valores do índice para cada progênie. É possível também atribuir pesos econômicos aos diferentes caracteres, dependendo da sua importância para o objetivo do programa de melhoramento (RAMALHO et al., 2012b).

Tem sido reportado na literatura o uso de índices de seleção como o índice de soma de postos. Soares et al. (2015) verificaram que esse índice foi eficiente na seleção de novas cultivares de soja. Bizari et al. (2017), ao comparar diferentes índices de seleção em populações segregantes de soja, verificaram que o índice baseado na soma de postos, utilizando os caracteres valor agrônomico e produtividade de grãos como caracteres principais e peso econômico 1 (um), proporcionou os ganhos mais favoráveis nas condições do estudo. Bárbaro et al. (2007) verificaram que, dentre diferentes estratégias de seleção no

melhoramento de populações segregantes em soja, a estratégia que apresentou a maior expectativa de progresso genético foi a seleção direta entre famílias, a qual foi bastante próxima ao índice de Mulamba e Mock considerando o caráter produtividade de grãos.

2.3 Interação genótipos por ambientes e sua implicação na associação de caracteres

O fenótipo de um indivíduo é influenciado tanto por sua constituição genética (genótipo), quanto pelo ambiente, que pode ser definido como o conjunto das condições que afetam o crescimento e desenvolvimento do organismo. Assim, o fenótipo (F) observado é determinado pela ação do genótipo (G) e do ambiente (A), de forma que $F = G + A$ (RAMALHO et al., 2012a).

Entretanto, se um genótipo é avaliado em mais de um ambiente, sua manifestação fenotípica será influenciada por um novo componente resultante da interação genótipos por ambientes (GA). Essa interação pode ser conceituada como sendo o efeito diferencial dos ambientes sobre os genótipos, ou seja, a interação resulta da resposta diferencial de cada genótipo nos vários ambientes, refletindo as diferentes sensibilidades dos genótipos às mudanças ambientais (CHAVES, 2001; RAMALHO et al., 2012a).

A interação GA pode ser do tipo simples, quando a interação não interfere na recomendação da cultivar, já que não altera a classificação do genótipo, ou complexa, quando ocorre inversão do comportamento das cultivares, ou seja, há alteração na classificação dos genótipos nos diferentes ambientes (CRUZ; CARNEIRO, 2006).

Segundo Kang (1998), a expressão dos genes é influenciada e/ou regulada por fatores ambientais, de forma que a interação ocorre quando a contribuição ou o nível de expressão dos genes que controlam o caráter diferem entre os ambientes. Assim, a ocorrência de interação GA é inerente a cada cultivar, em decorrência de fatores fisiológicos e bioquímicos.

Dentre as características de maior interesse do melhorista, a produtividade de grãos pode ser considerada como uma das mais afetadas pela interação GA, já que é controlada por muitos genes e se constitui em um índice natural de seleção, o qual leva em conta diversos caracteres fisiológicos, morfológicos e agronômicos.

Diversos trabalhos na literatura relatam o efeito da interação GA sobre a produtividade de grãos. Gurmu, Mohammed e Alemaw (2009), sob condições de clima temperado, observaram que 17,1% da variação obtida na produção de grãos de soja é proveniente dos efeitos da interação GA, sendo superior ao efeito do genótipo, o qual correspondeu a apenas 7,6%. Salmeron et al. (2014) demonstraram que grande parte da oscilação em produtividade

em genótipos de soja ocorrem em razão da interação GA, a qual variou de 22,0 a 38,0% em duas safras, superando também o efeito de genótipos, que oscilou de 9,0 a 10,0%.

Além de dificultar a recomendação de cultivares adaptadas a diferentes ambientes, a interação também pode influenciar na expressão fenotípica da associação entre caracteres. Avaliando 900 linhagens $F_{6:7}$ de soja em locais contrastantes em saturação de alumínio, Azevedo Filho, Vello e Gomes (1998) observaram que as correlações fenotípicas e genotípicas entre os caracteres foram positivas e maiores no local com maior saturação de alumínio, e que, em geral, as correlações genotípicas foram superiores às fenotípicas, indicando que a expressão fenotípica da associação entre caracteres é influenciada pelas alterações no ambiente, dificultando o processo de seleção.

A partir de estudos de correlações genéticas e fenotípicas entre produção de grãos e teor de proteína em três populações de soja, Monteverde (1984) sugeriu que as estimativas de variâncias e covariâncias genéticas estariam inflacionadas pelas interações existentes entre genótipos x locais, genótipos x anos e genótipos x locais x anos. Ressaltou-se a necessidade de se remover os componentes de variância associados com a interação entre locais e anos em populações similares para identificar com maior precisão a natureza das correlações genéticas entre os caracteres, a fim de melhorar as estimativas dos coeficientes de correlação.

2.4 Emprego da análise de trilha no melhoramento de plantas

Apesar da grande utilidade das estimativas de coeficientes de correlação no entendimento de um caráter complexo, como o rendimento de grãos, elas não são medidas de causa e efeito, já que essa quantificação é restrita a comparações entre caracteres dois a dois e não considera as influências diretas e indiretas entre os demais caracteres (ALCANTARA NETO et al., 2011; NOGUEIRA et al., 2012). Assim, se a correlação alta entre dois caracteres for consequência do efeito indireto de outras características, a estimativa obtida pode ser enganosa, resultando em equívocos na estratégia de seleção (PERINI et al., 2012). Nesse caso, o uso de metodologias específicas, como a análise de trilha, auxilia no entendimento das reais relações de um conjunto de caracteres sobre uma variável principal (BARASKAR, 2015).

A análise de trilha desenvolvida por Wright (1921) permite desdobrar os coeficientes de correlação estimados em seus efeitos diretos e indiretos de caracteres sobre uma variável básica (CRUZ, 2001). Para isso, deve-se, primeiramente, estabelecer um modelo de relacionamento de causa e efeito entre as variáveis, chamado de diagrama causal. Esse diagrama deve ser construído considerando as verdadeiras relações entre as variáveis

explicativas com a variável básica, ou seja, o melhorista deve observar quais variáveis são mais importantes na expressão da variável principal (CARVALHO, 1995).

Em seguida, as correlações serão então decompostas em um conjunto de termos denominados coeficientes de trilha, os quais apresentam caminhamentos simples e complexos (JOHNSON; WICHERN, 2007). Os coeficientes de trilha são estimados pelo método dos quadrados mínimos, a partir de modelos de equações de regressão em que as variáveis são previamente padronizadas (CRUZ, 2001).

Segundo Wright (1934), a análise de trilha é direcional e seus coeficientes podem assumir valores acima da unidade, positivos ou negativos. Seus resultados podem ser comparados entre variáveis de diferentes escalas já que na sua estimação, as variáveis são previamente padronizadas.

Em algumas situações, os coeficientes de trilha podem auxiliar na tomada de decisão sobre a estratégia de seleção mais adequada: a) quando a correlação observada entre um caráter causal e o principal for semelhante em magnitude e sinal ao seu efeito direto, a seleção indireta do caráter causal pode ser eficiente, pois, nesse caso, a correlação expressa a verdadeira associação entre esses caracteres; b) ocorrendo correlação positiva, mas o efeito direto é negativo ou insignificante, a correlação, nesse caso, é causada pelos efeitos indiretos, os quais devem então ser considerados simultaneamente no processo de seleção; c) caso ocorra correlação irrisória, mas com efeito direto positivo e alto, os efeitos indiretos é que são responsáveis pela falta de correlação e, nesse caso, também os fatores causais indiretos devem receber atenção especial no processo de seleção; d) se a correlação for pronunciadamente negativa, mas o efeito direto é positivo e alto, deve-se aplicar um esquema seletivo restrito, visando eliminar os efeitos indiretos indesejáveis para aproveitar o efeito direto existente (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

Quando há correlações elevadas entre variáveis que compõem o diagrama causal de uma análise de trilha, pode-se conduzir à multicolinearidade, a qual pode afetar a confiabilidade dos coeficientes de trilha, em razão das elevadas variâncias associadas aos seus estimadores, e levar a resultados danosos ou absurdos (CARVALHO; CRUZ, 1996).

Para a obtenção dos efeitos diretos e indiretos sobre uma variável básica, utilizando o método dos quadrados mínimos, é necessário que a matriz $X'X$, em que X é a matriz das correlações entre os caracteres explicativos, esteja bem condicionada. Problemas de multicolinearidade podem torná-la singular e, conseqüentemente, as estimativas de mínimos quadrados não serão confiáveis (CRUZ, 2006).

Diversos métodos são descritos na literatura para o diagnóstico da presença de multicolinearidade. No método que considera o determinante da matriz de correlação, quanto mais o valor do determinante se aproxima de zero, mais intensa é a multicolinearidade. Pelo método proposto por Montgomery e Peck (1981), analisam-se os autovalores associados à matriz de correlação e o diagnóstico de multicolinearidade se dá pelo número de condições (NC), que é a razão do maior pelo menor autovalor. A multicolinearidade é considerada fraca, quando $NC < 100$, moderada quando $100 < NC < 1000$ ou forte se $NC > 1000$.

Os efeitos da multicolinearidade podem ser atenuados pela eliminação de variáveis do modelo de regressão, preferencialmente aquelas que mais contribuem para a multicolinearidade (CRUZ, 2006). Outra forma de amenizar seus efeitos é a metodologia em que se admite que, na presença de multicolinearidade, o estimador de mínimos quadrados ordinários, obtido pelo sistema de equações normais $X' X \beta = X' Y$, pode estar associado a uma elevada variância. Recomenda-se, então, modificar ligeiramente o sistema de equações normais pela aplicação de uma constante “k” na diagonal da matriz $X' X$, de forma semelhante ao método de regressão em crista (CARVALHO, 1995).

A análise de trilha aplicada ao melhoramento de plantas possibilita identificar a influência de um caráter qualquer sobre o caráter principal e, com isso, estabelecer a melhor estratégia de seleção. Em soja, é frequente a utilização da análise de trilha em estudos em que a produtividade de grãos é o caráter principal.

Ao realizar o desdobramento das correlações fenotípicas em efeitos diretos e indiretos sobre a produção de grãos de soja, diversos autores concluíram que o número de legumes por planta, o peso de 100 grãos e o número de grãos por legume têm grande efeito direto e positivo no aumento da produtividade. Altura de planta e número de ramificações também se destacam como caracteres com efeito importante sobre a produtividade de grãos (Tabela 1).

Tabela 1 - Resultados de análises de trilha, com a cultura da soja, realizadas por diversos autores ressaltando os caracteres com maiores efeitos diretos sobre o caráter principal, a produtividade de grãos.

Caracteres com maior efeito direto	Autores
NV, NGV e P100	Khan, Hatam e Khan (2000)
NV, NGV e P100	Iqbal et al. (2003)
NV, NGV e P100	Nogueira et al. (2012)
DPM, AP, NHP	Carvalho et al. (2002)
AP, NN	Bizeti et al. (2004)
DPM, NR, CV, NV, P100	Arshad, Ali e Ghafoor (2006)
NV, RP, RO (com irrigação normal)	Siahbidi et al. (2013)
NGP, RP, RO (com déficit hídrico)	Siahbidi et al. (2013)
MS, IC	Ghodrati et al. (2013)
NV, NR (crescimento determinado)	Teodoro et al. (2015)
AP, NV, NR (crescimento indeterminado)	Teodoro et al. (2015)

Fonte: Do autor (2017).

NV: Número de legumes por planta; NGV: Número de grãos por legume; P100: Peso de 100 grãos; DPM: Dias para maturação; AP: Altura da planta; NHP: Número de nós na haste principal; NN: Número de nós; NR: Número de ramificações; CV: Comprimento de legume; RP: Rendimento de proteína; RO: Rendimento de óleo; NGP: Número de grãos por planta; MS: Matéria seca; IC: Índice de colheita.

3 MATERIAL E MÉTODOS

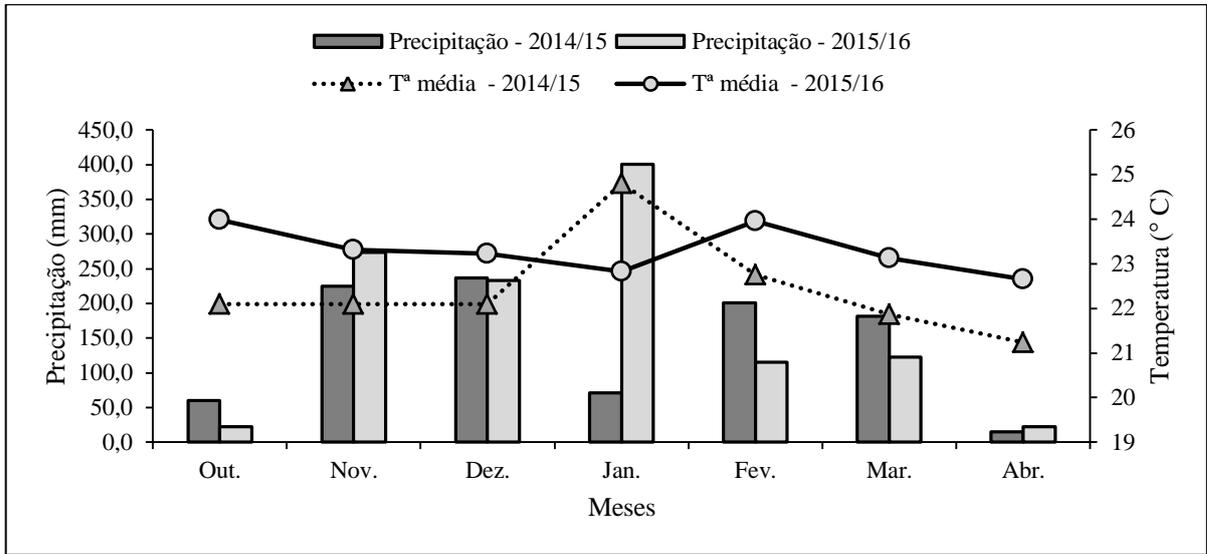
3.1 Descrição dos experimentos

Os experimentos foram conduzidos em três localidades do estado de Minas Gerais durante dois anos agrícolas, 2014/15 e 2015/16:

- a) área experimental situada no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária da Universidade Federal de Lavras-UFLA (Fazenda Muquém) localizada no município de Lavras a uma altitude de 954 m, 21°12'11'' de latitude sul e 44°58'47'' de longitude oeste, com solo do tipo latossolo e semeadura no início de novembro;
- b) área experimental no Centro de Desenvolvimento e Transferência Tecnológica em Agropecuária da Universidade Federal de Lavras-UFLA (Fazenda Palmital) localizada no município de Ijaci a uma altitude de 920 m, 21°09'00'' de latitude sul e 44°54'07'' de longitude oeste, com solo do tipo latossolo e semeadura no início de novembro;
- c) propriedade particular no município de Itutinga, Fazenda Milanez, localizada a uma altitude de 970 m, latitude sul de 21° 17' 53'' e longitude oeste de 44° 39' 28'', com solo do tipo latossolo e semeadura no início de novembro.

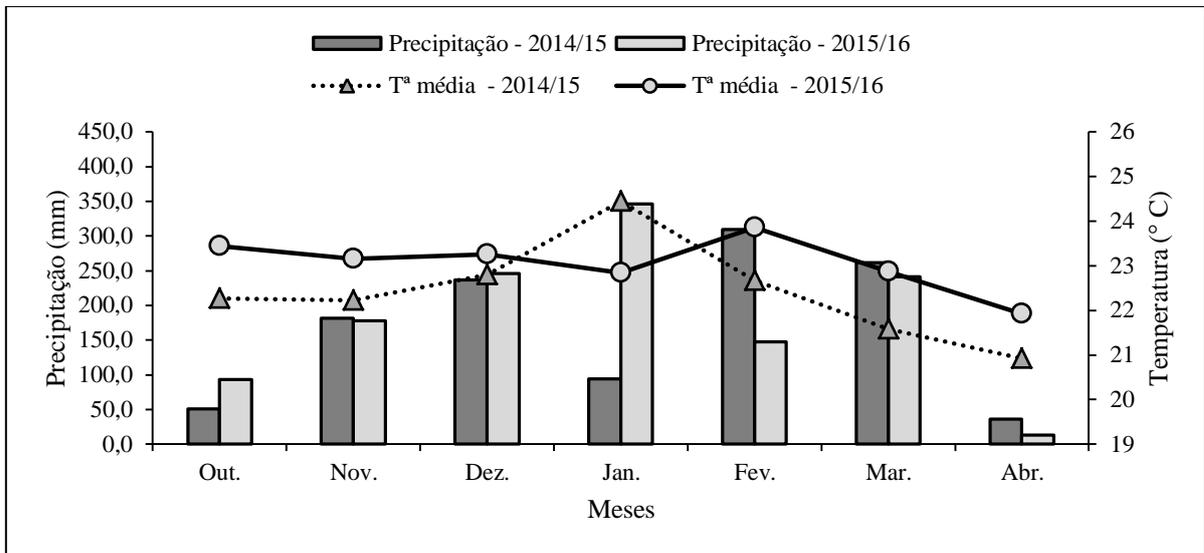
Dados referentes à climatologia e propriedades químicas do solo dos ambientes experimentais encontram-se nas Figuras 1, 2 e 3 e Tabela 2.

Figura 1 - Variações mensais de precipitação e temperatura no período de outubro a abril do ano agrícola 2014/15 e 2015/16, em Lavras - MG.



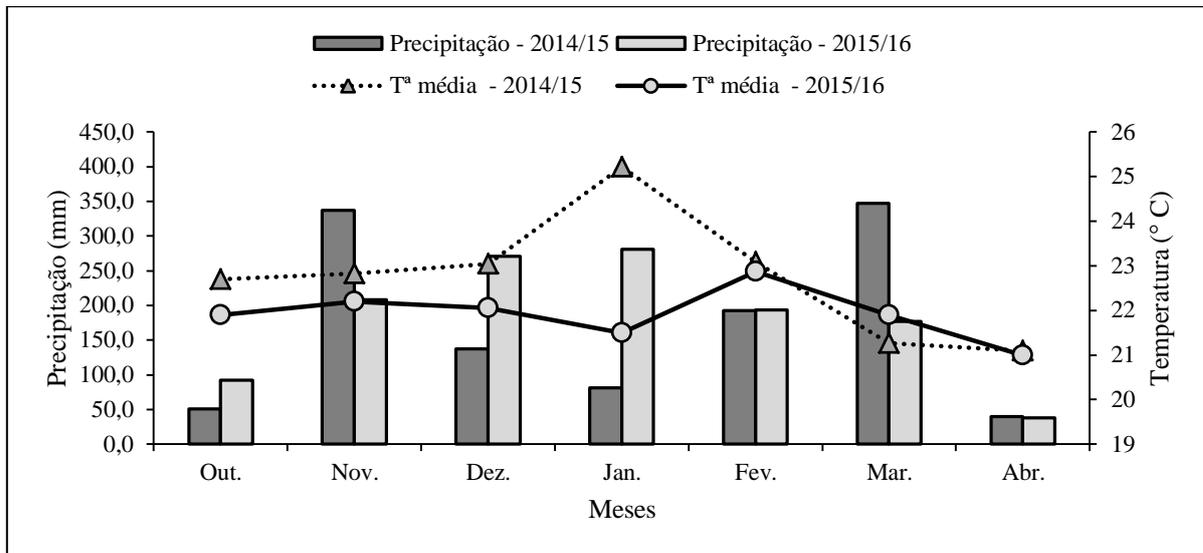
Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (2017).

Figura 2 - Variações mensais de precipitação e temperatura no período de outubro a abril do ano agrícola 2014/15 e 2015/16, em Ijaci - MG.



Fonte: INMET (2017).

Figura 3 - Variações mensais de precipitação e temperatura no período de outubro a abril do ano agrícola 2014/15 e 2015/16, na cidade de Itutinga - MG.



Fonte: INMET (2017).

Tabela 2 - Composição química do solo para Lavras, Ijaci e Itutinga (anos agrícolas 2014/15 e 2015/16).

Propriedades químicas		Ambientes					
		2014/2015			2015/2016		
		Lavras	Ijaci	Itutinga	Lavras	Ijaci	Itutinga
pH	H ₂ O	5,7	6,3	5,3	5,8	6,4	5,7
Ca ²⁺		3,3	5,0	1,8	3,7	5,5	2,3
Mg ²⁺		0,6	1,8	0,6	1,0	2,0	0,7
Al ²⁺	cmol/dm ³	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
H ⁺ +Al ³⁺		4,0	2,9	2,9	2,7	2,9	2,5
SB		4,2	6,7	2,6	4,1	7,0	3,1
P		24,6	28,4	30,4	36,1	30,2	27,3
K		116,0	118,0	84,9	96,0	115,0	100,7
Zn ²⁺		2,6	-	-	3,6	-	-
Mn ²⁺	mg/dm ³	20,6	-	-	14,1	-	-
Cu ²⁺		0,1	-	-	0,5	-	-
B		0,2	-	-	0,2	-	-
Fe ²⁺		54,3	-	-	74,4	-	-
S		9,0	-	-	9,1	-	-
MO	dag/kg	2,2	5,4	1,8	2,9	5,7	2,3
V	(%)	83,5	69,8	60,3	64,3	70,0	63,4

Fonte: Do autor (2017).

H⁺ + Al³⁺: acidez potencial; SB: soma de bases; MO: matéria orgânica; V: saturação por bases.

3.2 Cultivares

Foram utilizadas 35 cultivares comerciais de soja (TABELA 3), as quais possuem potencial para produção na região sul de Minas Gerais. Essas cultivares são pertencentes às empresas Dow AgroSciences, DuPont Pioneer, Coodetec, Caraíba Genética, Fundação Pró-Sementes, Monsanto, Nidera, Tropical Melhoramento Genético e Riber KWS.

Tabela 3 - Relação dos genótipos de soja, e respectivas informações de grupo de maturação (GM) e hábito de crescimento (HC).

Cultivares	GM	HC	Cultivar	GM	HC
FPS Iguaçu	5.0	I ¹	5D 690 RR	6.9	I
NS 5106 IPRO	5.1	I	NS 6909 IPRO	6.9	I
NS 5151 IPRO	5.1	I	NS 7000 IPRO	7.0	I
95R51	5.5	I	CD 238 RR	7.1	D
CD 250 RR	5.5	I	M 7110 IPRO	7.1	I
FPS Paranapanema RR	5.6	SD ²	TMG 716 RR	7.1	I
FPS Solimões RR	5.7	I	97R21	7.2	I
FPS Atlanta	5.8	I	NS 7209 IPRO	7.2	I
RK 5813 RR	5.8	I	CG 68 RR	7.3	I
FPS Júpiter RR	5.9	I	NS 7300 IPRO	7.3	I
NS 5909 IPRO	5.9	I	NS 7338 IPRO	7.3	I
NS 5959 IPRO	5.9	I	CG 67 RR	7.4	SD
5D 615 RR	6.1	I	CG 7464 RR	7.4	SD
FPS Urano RR	6.2	D ³	CG 7665 RR	7.6	SD
FPS Netuno RR	6.3	I	5G 770 RR	7.7	I
FPS Solar IPRO	6.3	I	CG 8166 RR	7.7	I
FPS Antares RR	6.8	I	5G 830 RR	8.3	D
RK 6813 RR	6.8	I	-	-	-

Fonte: Do autor (2017).

¹ Indeterminado; ²Semi-determinado; ³Determinado.

3.3 Condução dos experimentos

Os experimentos foram conduzidos no delineamento de blocos casualizados com três repetições. Cada parcela foi constituída por duas linhas de cinco metros de comprimento com espaçamento entre linhas de 50 cm.

A semeadura foi realizada manualmente, adotando a densidade de 15 plantas por metro linear e adubação de 350 kg.ha⁻¹ do formulado NPK 02-30-20 no plantio. A inoculação foi realizada no sulco após a semeadura com inoculante líquido (*Bradyrhizobium japonicum*) com o auxílio de pulverizador motorizado, aplicando-se seis vezes a dose recomendada, na proporção de 12 mL.kg⁻¹ de sementes.

O controle de plantas daninhas em pós-emergência foi realizado utilizando-se glifosato na dosagem de 2 L.ha^{-1} . A aplicação foi realizada com pulverizador costal e bicos do tipo leque, adotando volume de calda de 200 L.ha^{-1} .

Para o controle de doenças, foram realizadas aplicações preventivas de fungicidas. Os fungicidas utilizados foram Piraclostrobina, na dosagem de $0,5 \text{ L.ha}^{-1}$, Piraclostrobina + Epoxiconazol na dosagem de $0,5 \text{ L.ha}^{-1}$ e Azoxistrobina + Ciproconazol na dosagem de 300 mL.ha^{-1} , com volume de calda de 200 L.ha^{-1} .

O controle de pragas foi realizado quando necessário, com o emprego de inseticidas reguladores de crescimento, sendo o ingrediente ativo o Teflubenzurom na dosagem de 50 mL.ha^{-1} do produto comercial. Foram utilizados também: inseticida sistêmico de contato e ingestão dos grupos químicos Piretróide e Neonicotinóide, na dosagem de 200 mL.ha^{-1} do produto comercial; e os inseticidas de contato Cipermetrina e Clorpirifós na dosagem de 120 e 250 mL.ha^{-1} , respectivamente, sendo todos com volume aplicado de calda de 200 L.ha^{-1} .

3.4 Caracteres avaliados

- a) produtividade de grãos (PROD): determinada a partir da colheita das duas linhas de 5 m de cada parcela. O peso de grãos obtidos em cada parcela foi corrigido para umidade de 13%, obtendo-se, posteriormente, a produtividade em sacas. ha^{-1} (sacas de 60 kg);
- b) inserção do primeiro legume (INS): mensurada por meio de uma régua aferida disposta ao lado da planta, sendo obtido o valor da distância do solo até o primeiro legume da planta (em cm), obtendo-se o valor médio de cinco plantas tomadas aleatoriamente;
- c) altura de plantas (ALT): obtida por meio de uma régua aferida e disposta ao lado da planta, sendo obtido o valor da distância do solo até o ápice da planta (em cm), obtendo-se o valor médio de cinco plantas tomadas aleatoriamente;
- d) acamamento de plantas (ACAM): o índice de acamamento foi estimado de acordo com a escala proposta por Bernard et al. (1965), atribuindo notas de 1 a 5, de acordo com a seguinte classificação:
 - 1 todas as plantas eretas;
 - 2 algumas plantas inclinadas ou ligeiramente acamadas ou até 25% acamadas;
 - 3 todas as plantas moderadamente inclinadas ou 25 a 50% acamadas;
 - 4 todas as plantas severamente inclinadas ou 50 a 80% acamadas;
 - 5 todas as plantas acamadas.

- e) peso de 100 grãos (P100): determinado utilizando-se 100 grãos oriundos da porção de grãos de cada parcela, onde cada amostra foi pesada individualmente e os resultados expressos em gramas (g);
- f) número de legumes por planta (NV), número de grãos por planta (NG) e número de grãos por legume (NGV): para tais avaliações foi realizada a coleta de cinco plantas ao acaso e os legumes e grãos foram contados de forma manual, obtendo-se o número médio de grãos por planta, legumes por planta e grãos por legume;
- g) maturação absoluta (MA): determinado com base no número de dias contados a partir da data de emergência das plântulas até a data em que 95% dos legumes das plantas apresentaram-se maduros (estágio R8).

3.5 Análise estatística dos dados

Os dados obtidos foram submetidos a análises de variância seguindo as estratégias apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Estratégias de análise de dados referentes à avaliação de cultivares de soja em Lavras/MG, Ijaci/MG e Itutinga/MG nos anos agrícolas 2014/15 e 2015/16.

Análise	Modelo estatístico
Individual - em cada local e ano agrícola	$Y_{ij} = \mu + t_i + b_j + e_{ij}$
Conjunta dos locais em cada ano agrícola	$Y_{ijl} = \mu + t_i + b_{j(l)} + a_l + (ta)_{il} + e_{ij(l)}$
Conjunta dos anos agrícolas em cada local	$Y_{ijk} = \mu + t_i + b_{j(k)} + s_k + (ts)_{ik} + e_{ijk}$
Conjunta geral	$Y_{ijkl} = \mu + t_i + b_{j(kl)} + s_k + a_l + (ts)_{ik} + (ta)_{il} + (sa)_{kl} + (tsa)_{ikl} + e_{ijk(l)}$

Fonte: Do autor (2017).

Em que: $Y_{ij} = Y_{ijl} = Y_{ijk} = Y_{ijkl}$: valor fenotípico; μ : constante inerente a todas as observações; t_i : efeito da cultivar i ; b_j : efeito do bloco j ; $b_{j(l)}$: efeito do bloco j dentro do local l ; $b_{j(k)}$: efeito do bloco j dentro do ano k ; $b_{j(kl)}$: efeito do bloco j dentro do local l , dentro do ano agrícola k ; a_l : efeito do local l ; s_k : efeito do ano agrícola k ; $(ta)_{il}$: efeito da interação cultivar e local; $(ts)_{ik}$: efeito da interação cultivar e ano agrícola; $(sa)_{kl}$: efeito da interação ano agrícola e local; $(tsa)_{ikl}$: efeito da interação cultivar, ano agrícola e local; $e_{ij} = e_{ij(l)} = e_{ijk} = e_{ijk(l)}$: erro associado à $Y_{ij} = Y_{ijl} = Y_{ijk} = Y_{ijkl}$, sendo $e_{ij} = e_{ij(l)} = e_{ijk} = e_{ijk(l)} \sim N(0, \sigma_e^2)$, respectivamente.

As análises de variância foram realizadas em ambiente R (R CORE TEAM, 2015) e as médias obtidas foram agrupadas pelo teste de Scott e Knott (1974) a 5% de probabilidade. A precisão experimental foi aferida por meio da estimativa do CV (coeficiente de variação

experimental) e da acurácia seletiva (RESENDE; DUARTE, 2007), de acordo com os estimadores:

$$CV = \frac{\hat{\sigma}_e}{\bar{X}} \times 100$$

em que:

CV é o coeficiente de variação experimental expresso em porcentagem;

$\hat{\sigma}_e$ é o desvio padrão do caráter;

\bar{X} é a média do caráter.

$$r = \sqrt{1 - \frac{1}{F_c}} \times 100$$

em que:

r é a acurácia seletiva expressa em porcentagem;

F_c é o valor de F calculado.

A soma de quadrados total foi particionada em seus componentes para estimar a magnitude dos efeitos do ambiente, do genótipo e da interação genótipos x ambientes sobre todos os caracteres avaliados, segundo o estimador:

$$\%FV = \frac{SQ(FV)}{SQT - (SQB + SQR)} \times 100$$

em que:

$\%FV$ é a magnitude em porcentagem do efeito da fonte de variação desejada;

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

SQT é a soma de quadrados total;

SQB é a soma de quadrados de blocos;

SQR é a soma de quadrados do resíduo.

3.6 Análise de trilha

A análise de trilha foi feita no programa computacional Genes (CRUZ, 2013). As matrizes de correlação entre os caracteres envolvidos foram estimadas e suas significâncias avaliadas pelo teste de Mantel. A multicolinearidade foi testada com base no número de condição da matriz (MONTGOMERY; PECK, 1981). Esse método considera o número de

condições (NC) obtido pela razão do maior autovalor pelo menor autovalor da matriz de correlação. Se NC é menor que 100, a multicolinearidade é considerada fraca. Em caso de multicolinearidade moderada ($100 < NC < 1000$) ou forte ($NC > 1000$), sugere-se a eliminação de variáveis do modelo de regressão, preferencialmente aquelas que mais contribuem para a multicolinearidade ou a adição de uma constante k na diagonal da matriz $X'X$, assim como no método de regressão em crista (CARVALHO, 1995).

A análise foi realizada com um diagrama causal de uma cadeia (FIGURA 4), tendo como objetivo desdobrar as correlações em efeitos diretos e indiretos de variáveis explicativas sobre a variável principal produtividade de grãos.

A decomposição da correlação entre as variáveis explicativas e a variável básica é dada por (CRUZ, 2006):

$$r_{iy} = p_i + \sum_{j \neq i}^n p_j r_{ij},$$

em que:

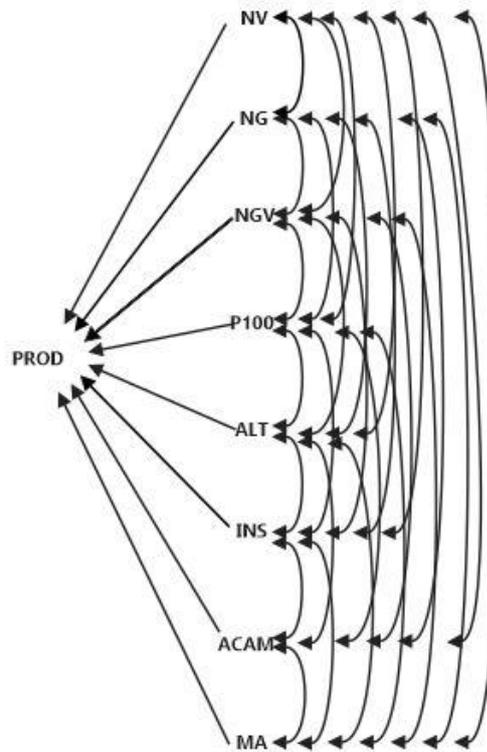
r_{iy} é a correlação entre a variável principal (y) e a i -ésima variável explicativa;

p_i é a medida do efeito direto da variável i sobre a variável principal;

$p_j r_{ij}$ é a medida do efeito indireto da variável i , via variável j , sobre a variável principal.

Foram obtidas também, nesta análise, as estimativas do coeficiente de determinação do modelo e o efeito da variável residual sobre a variável principal.

Figura 4 - Diagrama causal de uma cadeia dos efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas número de legumes por planta (NV), número de grãos por planta (NG), número de grãos por legume (NGV), peso de 100 grãos (P100, g), altura (ALT, cm), inserção do 1º legume (INS, cm), acamamento (ACAM) e maturação absoluta (MA, dias) sobre a variável principal produtividade de grãos (PROD).



Fonte: Do autor (2017).

3.7 Estimação do índice de seleção

Foi empregado o índice da soma de postos (ISP) das cultivares avaliadas com base no seu desempenho médio em todos os locais e anos avaliados (MULAMBA; MOCK, 1978). Foram incluídos no índice os caracteres produtividade de grãos (PROD), inserção do primeiro legume (INS), altura de plantas (ALT), acamamento de plantas (ACAM), peso de 100 grãos (P100), número de legumes por planta (NV), número de grãos por legume (NGV) e maturação absoluta (MA). O ISP foi calculado de três maneiras: a primeira utilizando-se o mesmo peso para todos os caracteres avaliados, a segunda utilizando-se como peso econômico dos caracteres o valor da correlação entre esses caracteres e a produtividade de grãos (RESENDE, 2007), e a terceira utilizando-se como peso econômico o valor do efeito direto dos caracteres sobre produtividade, de acordo com a expressão:

$$ISP_j = \sum_{i=1}^n u_i P_{ij}$$

em que:

ISP_j é a soma de postos associado à cultivar j ;

P_{ij} é o posto obtido para a cultivar j considerando o caráter i ;

u_i é o peso econômico atribuído ao caráter i , obtido pelas expressões:

$$u_i = \frac{r_{i,y}}{\sum_{i=1}^n r_{i,y}} \text{ ou } u_i = \frac{d_{i,y}}{\sum_{i=1}^n d_{i,y}}$$

em que:

$r_{i,y}$ é a correlação entre o caráter i e o caráter básico produtividade de grãos;

$d_{i,y}$ é o efeito direto do caráter i sobre o caráter básico produtividade de grãos.

Com o auxílio do software estatístico Genes (CRUZ, 2013) foi calculado o índice de coincidência, proposto por Hamblin e Zimmermann (1986), com intensidades de seleção de 5, 10, 15, 20, 25 e 30%, para testar a coincidência das cultivares superiores com base na produtividade média de grãos, em sacas/ha, e o índice da soma de postos, considerando como pesos o valor da correlação ou do efeito direto dos caracteres explicativos e a produtividade de grãos, além do índice da soma de postos considerando o mesmo peso para todos os caracteres avaliados, conforme expressão a seguir:

$$IC = \frac{A - C}{M - C} \times 100$$

em que:

A: número de cultivares coincidentes nos diferentes índices;

C: número de cultivares coincidentes nos diferentes índices devido ao acaso ($C = i\% \times M$);

M: número de cultivares superiores selecionadas de acordo com o índice de seleção.

4 RESULTADOS

Nas análises individuais, por local e ano agrícola, observou-se boa precisão experimental e elevada acurácia seletiva para a maioria dos caracteres (TABELAS 1-6, APÊNDICE A). Em geral, foi observada a maior magnitude na estimativa do coeficiente de variação experimental para o caráter acamamento. A acurácia seletiva variou de 47,58% (peso de 100 grãos em Itutinga 15/16) a 97% (altura de plantas em Lavras 15/16).

Nos locais e anos agrícolas avaliados detectou-se diferença entre cultivares para quase todos os caracteres, exceto para número de grãos por planta (Lavras 14/15, Ijaci 14/15, Itutinga 15/16, Ijaci 15/16), número de grãos por legume (Lavras 14/15, Ijaci 14/15), número de legumes por planta (Ijaci 15/16), peso de 100 grãos (Ijaci 15/16) e acamamento (Lavras 14/15). A existência de variação entre as cultivares abre a possibilidade de seleção e também para a quantificação das possíveis correlações entre os caracteres.

Nas análises multilocais, no ano agrícola 2014/15 (TABELA 7, APÊNDICE A), observou-se diferença significativa entre cultivares (C) e entre locais (L), assim como para a interação C x L, em todos os caracteres avaliados. Nesse ano, detectou-se também elevada acurácia seletiva, exceto para os caracteres NGV e ACAM. Para o ano agrícola 2015/2016 (TABELA 8, APÊNDICE A), pode-se observar efeito significativo de cultivares e de locais para todos os caracteres avaliados. Já a interação C x L foi significativa apenas para os caracteres altura de planta, altura de inserção do primeiro legume e maturação absoluta, os quais também apresentaram maiores valores de acurácia seletiva.

Nas análises de variância conjunta por local, considerando-se os dois anos agrícolas ou safras (S) (TABELA 9, 10 e 11, APÊNDICE A), observou-se significância para o efeito da interação C x S para quase todos os caracteres avaliados. Verificou-se que a contribuição da interação C x S para a variação fenotípica apresenta grande diferença nos três locais.

A partir da análise de variância conjunta envolvendo todos os locais e anos agrícolas, observou-se que a acurácia seletiva variou de 84,21 a 99,16%. Já as estimativas dos coeficientes de variação (CV) variaram de 4,09 a 33,15% (TABELA 5).

Houve efeito significativo de cultivares locais e da interação C x S para todos os caracteres avaliados (TABELA 5). Apenas o caráter número de legumes por planta não apresentou diferença entre os anos agrícolas. A interação C x L apenas não foi significativa para os caracteres peso de 100 grãos, altura de planta e acamamento. Já, para a interação CxLxS não foi observada diferença significativa nos caracteres número de legumes por planta e peso de 100 grãos (TABELA 5). Houve efeito significativo da interação L x S para todos os

caracteres avaliados, exceto para P100. Esses resultados permitem inferir que o comportamento das cultivares não foi coincidente para quase todos os caracteres nos distintos ambientes avaliados.

Para a maioria dos caracteres, observaram-se grande magnitude do efeito de locais e anos agrícolas, evidenciando assim influência de fatores não genéticos na expressão fenotípica. Para altura de plantas, por exemplo, grande magnitude foi observada no efeito de anos agrícolas. Por outro lado, mais de 40% da variação fenotípica observada no peso de 100 grãos pode ser atribuída ao efeito de genótipos. Fica evidente também que para grande parte dos caracteres avaliados, detectou-se maior contribuição da interação C x S (TABELA 6).

Tabela 5 - Resumo da análise de variância conjunta referente à avaliação de cultivares de soja em Lavras/MG, Ijaci/MG e Itutinga/MG nos anos agrícolas 2014/15 e 2015/16. Lavras - MG, 2017.

FV	GL	QM								
		PROD	NV	NG	NGV	P100	ALT	INS	ACAM	MA
Cultivares	34	1076,10*	1214,30*	3573,00*	0,23*	67,08*	2764,00*	162,32*	4,33*	449,90*
Locais	2	17900,10*	14541,50*	33625,00*	1,98*	230,33*	19415,00*	1795,48*	4,55*	6018,10*
Safras	1	7609,50*	85,90	6745,00*	4,28*	793,48*	129367,00*	1962,24*	91,71*	6010,30*
CxL	68	207,40*	229,40*	792,00*	0,10*	8,02	55,00	12,46*	0,52	52,20*
CxS	34	629,60*	415,70*	1855,00*	0,22*	14,97*	181,00*	16,25*	2,42*	67,70*
LxS	2	10454,50*	1058,00*	4421,00*	1,19*	13,55	19469,00*	1147,55*	11,84*	2096,80*
CxLxS	68	180,20*	172,70	719,00*	0,09*	8,52	87,00*	10,92*	0,67*	25,60*
Erro Médio		69,80	132,60	514,00	0,07	6,80	46,00	5,30	0,42	11,70
Média Geral		52,68	41,33	77,54	1,89	19,45	78,78	15,82	1,48	123,46
CV (%)		14,71	20,01	18,29	5,97	9,99	15,78	19,07	33,15	4,09
Acurácia (%)		96,70	94,38	92,52	84,21	94,79	99,16	98,35	95,01	98,69

Fonte: Do autor (2017).

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. PROD: produtividade, sacas/ha; NV: número de legumes por planta; NG: número de grãos por planta NGV: número de grãos por legume; P100: peso de 100 grãos, g; ALT: Altura, cm; INS: altura de inserção do 1º legume, cm); ACAM: acamamento; MA: maturação absoluta, dias.

Tabela 6 - Porcentagens dos efeitos de cultivar, local, ano agrícola ou safra e interações entre estes fatores sobre os caracteres avaliados, referentes à avaliação de cultivares de soja em Lavras/MG, Ijaci/MG e Itutinga/MG nos anos agrícolas 2014/15 e 2015/16. Lavras - MG, 2017.

Caráter	Cultivares	Locais	Safras	LxS	CxL	CxS	CxLxS
PROD	24,29	23,76	5,05	13,88	9,36	14,21	8,13
NV	35,64	25,11	0,07	1,83	13,47	12,20	10,14
NG	31,84	17,62	1,77	2,32	14,12	16,53	12,81
NGV	17,99	9,27	10,00	5,55	16,35	17,73	14,53
P100	42,61	8,61	14,83	0,51	10,19	9,51	10,83
ALT	29,36	12,13	40,42	12,17	1,17	1,92	1,84
INS	35,29	22,96	12,55	14,67	5,42	3,53	4,75
ACAM	31,76	1,96	19,77	5,10	7,67	17,72	9,81
MA	33,46	26,33	13,15	9,17	7,77	5,03	3,80

Fonte: Do autor (2017).

PROD: produtividade, sacas/ha; NV: número de legumes por planta; NG: número de grãos por planta; NGV: número de grãos por legume; P100: peso de 100 grãos, g; ALT: Altura, cm; INS: altura de inserção do 1º legume, cm); ACAM: acamamento; MA: maturação absoluta, dias.

Para a produtividade de grãos, as cultivares NS 7000 IPRO e NS 7209 IPRO apresentaram os melhores resultados, produzindo, pelo menos, 65 sacas.ha⁻¹. As cultivares FPS Iguaçu e CD 250 apresentaram os piores desempenhos, com média inferior a 40 sacas.ha⁻¹. Para o caráter maturação absoluta, observou-se variação de 19 dias entre as cultivares, sendo a cultivar FPS Iguaçu a mais precoce, com 115 dias e a cultivar CG 8166 RR a mais tardia, com 134 dias (TABELA 7).

Para os caracteres reconhecidos como componentes de produção, isto é, NG, NV, NGV e P100, menor amplitude de variação foi observada quando comparada com a produtividade de grãos, com base no número de agrupamentos formados (TABELA 7). Para o caráter acamamento, todas as cultivares apresentaram médias fenotípicas entre 1,0 e 2,6, evidenciando baixo percentual de plantas acamadas. Considerando altura de plantas e inserção do primeiro legume, as variações observadas se situaram dentro do intervalo desejável para a colheita mecanizada de soja no Brasil.

Tratando-se da avaliação de múltiplos caracteres, justifica-se o emprego de métodos estatísticos para auxiliar no melhor entendimento do inter-relacionamento dos caracteres. Todavia, problemas de multicolinearidade podem ocorrer e, por conseguinte, prejudicar as inferências. Ao realizar-se o teste sugerido por Montgomery e Peck (1981), verificou-se a ocorrência de multicolinearidade forte (NC>1000). Nesse caso, uma forma de minimizar o problema é promover a retirada de caracteres redundantes.

Tabela 7 - Médias dos caracteres referentes à avaliação de cultivares de soja em Lavras/MG, Ijaci/MG e Itutinga/MG nos anos agrícolas 2014/15 e 2015/16. Lavras - MG, 2017.

(Continua)

Cultivares	PROD	NV	NG	NGV	P100	ALT	INS	ACAM	MA
NS7000 IPRO	66,02 A	38,81 C	73,60 C	1,89 B	22,55 A	86,04 D	18,92 B	1,11 D	125,29 D
NS 7209 IPRO	65,12 A	35,51 D	66,88 D	1,91 B	23,71 A	80,59 E	19,19 B	1,83 B	126,00 D
NS 7300 IPRO	62,14 B	39,17 C	73,43 C	1,87 C	20,90 B	80,03 E	18,54 B	2,22 A	127,28 C
CG 68 RR	61,11 B	39,53 C	75,59 C	1,90 B	19,54 C	80,07 E	18,49 B	1,11 D	125,72 D
CG 7464 RR	60,58 B	55,19 A	106,79 A	1,93 B	17,31 D	84,88 D	17,43 C	1,50 C	129,00 B
CD 238 RR	60,41 B	54,14 A	97,96 A	1,76 C	19,47 C	95,90 B	19,06 B	1,83 B	129,83 B
FPS Antares RR	59,90 B	41,56 C	79,08 C	1,90 B	19,20 C	83,39 D	15,19 D	1,33 C	124,83 D
NS 7338 IPRO	59,18 B	43,64 C	81,53 C	1,90 B	20,34 B	81,28 E	19,56 B	2,12 B	128,18 C
CG 8166 RR	59,09 B	54,33 A	99,07 A	1,79 C	18,13 C	94,68 B	21,59 A	2,44 A	133,67 A
FPS Netuno RR	58,35 B	39,07 C	75,62 C	1,93 B	18,55 C	88,79 C	16,02 C	1,67 B	123,00 E
CG 7665 RR	58,25 B	49,56 B	88,21 B	1,77 C	19,42 C	95,27 B	21,19 A	2,06 B	132,00 A
RK 6813 RR	57,46 B	46,07 B	88,77 B	1,89 B	18,68 C	82,30 D	16,86 C	1,50 C	123,56 E
97R21	56,32 C	48,86 B	85,12 B	1,74 C	19,70 C	89,86 C	19,28 B	2,00 B	125,72 D
RK 5813 RR	54,69 C	42,43 C	80,14 C	1,90 B	16,95 D	70,91 G	12,61 E	1,24 C	120,24 F
M7110 IPRO	54,30 C	44,54 B	92,26 B	2,07 A	20,60 B	77,02 E	14,64 D	1,41 C	122,47 E
FPS Solar RR	54,08 C	37,69 C	76,96 C	2,01 A	19,04 C	82,96 D	16,10 C	1,11 D	122,33 E
CG 67 RR	53,83 C	52,21 A	96,66 A	1,91 B	16,97 D	90,78 C	18,24 B	2,00 B	126,44 D
NS 6909 IPRO	53,81 C	26,55 D	54,14 D	2,07 A	21,85 B	67,36 G	13,98 D	1,00 D	122,28 E
5G 830 RR	53,59 C	58,37 A	109,27 A	1,92 B	15,37 D	93,08 B	18,27 B	2,61 A	129,41 B
NS 5959 IPRO	53,08 C	31,67 D	63,27 D	1,98 B	21,22 B	73,40 F	14,09 D	1,00 D	119,28 F
5G 770 RR	52,90 C	52,31 A	93,91 B	1,78 C	17,12 D	107,74 A	16,09 C	2,39 A	131,94 A
FPS Atlanta IPRO	52,04 C	34,52 D	69,63 C	2,02 A	20,51 B	70,61 G	14,03 D	1,00 D	119,94 F
NS 5909 IPRO	51,09 C	37,30 C	72,63 C	1,94 B	21,13 B	72,83 F	13,79 D	1,00 D	119,50 F
5D 690 RR	49,10 D	52,74 A	84,11 B	1,59 C	19,84 B	78,52 E	16,42 C	1,56 C	129,00 B
NS 5151 IPRO	48,72 D	29,89 D	57,92 D	1,97 B	21,22 B	60,28 H	12,08 E	1,00 D	118,11 G
5D 615 RR	47,12 D	32,29 D	60,15 D	1,90 B	19,28 C	75,11 F	14,47 D	1,00 D	116,00 H
FPS Júpiter RR	46,65 D	40,13 C	72,91 C	1,85 C	18,70 C	69,68 G	14,16 D	1,06 D	121,56 E
FPS Paranapanema RR	45,31 D	39,89 C	75,68 C	1,84 C	17,94 D	59,89 H	10,81 F	1,00 D	118,94 F
FPS Urano RR	45,08 D	33,19 D	61,48 D	1,81 C	20,92 B	51,66 I	12,08 E	1,00 D	124,56 D

Tabela 7 - Médias dos caracteres referentes à avaliação de cultivares de soja em Lavras/MG, Ijaci/MG e Itutinga/MG nos anos agrícolas 2014/15 e 2015/16. Lavras - MG, 2017.

(Conclusão)

Cultivares	PROD	NV	NG	NGV	P100	ALT	INS	ACAM	MA
TMG 716 RR	45,02 D	38,41 C	66,02 D	1,74 C	17,89 D	88,32 C	18,38 B	1,33 C	120,06 F
FPS Solimões RR	44,76 D	40,91 C	73,85 C	1,83 C	16,71 D	70,28 G	12,30 E	1,22 C	120,24 F
NS 5106 IPRO	43,62 D	30,26 D	56,41 D	1,85 C	21,11 B	55,09 I	10,67 F	1,00 D	118,29 G
95R51	41,42 D	33,00 D	64,81 D	1,87 C	18,89 C	61,81 H	11,03 F	1,11 D	116,06 H
CD 250	36,26 E	34,86 D	74,90 C	2,21 A	16,91 D	80,01 E	14,99 D	1,78 B	115,33 H
FPS Iguaçú RR	33,50 E	37,83 C	65,12 D	1,79 C	23,10 A	76,94 E	13,21 D	1,39 C	114,89 H

Fonte: Do autor (2017).

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott (1974) a 5% de probabilidade.

PROD: produtividade, sacas/ha; NV: número de legumes por planta; NG: número de grãos por planta NGV: número de grãos por legume; P100: peso de 100 grãos, g; ALT: Altura, cm; INS: altura de inserção do 1° legume, cm); ACAM: acamamento; MA: maturação absoluta, dias.

Ao analisar as correlações entre os caracteres, observou-se alta correlação entre o número de grãos por planta e o número de legumes (0,96). Assim, optou-se pela retirada do caráter número de grãos por planta. O teste realizado posteriormente demonstrou multicolinearidade fraca.

De forma geral, observa-se que os caracteres altura de inserção do primeiro legume e maturação absoluta apresentaram maiores estimativas de correlação positiva e significativa com a produtividade (TABELA 8). Verificou-se também que as magnitudes das estimativas de correlação foram influenciadas pela interação GA. Também foi observada grande variação nas estimativas dos efeitos diretos dos caracteres, obtidos por meio da análise de trilha, sobre a produtividade de grãos (TABELAS 12-24, AOÊNDICE A). Os caracteres que, de forma geral, apresentaram maiores estimativas de efeito direto positivo sobre a produtividade de grãos foram maturação absoluta e inserção do primeiro legume (TABELA 9).

Na Tabela 10, apresenta-se o “ranking” das cultivares segundo a produtividade média em sacas/ha, o índice da soma de postos considerando o mesmo peso para todos os caracteres avaliados, o índice da soma de postos considerando como peso o valor da correlação entre os caracteres avaliados e a produtividade de grãos e o índice da soma de postos considerando como peso o valor do efeito direto dos caracteres avaliados sobre produtividade de grãos. Observou-se que as cultivares NS 7000 IPRO e a NS 7209 IPRO alcançaram a primeira e segunda posição com base na produtividade e no índice da soma de postos considerando o efeito direto como peso, e se destacaram por associarem ciclo relativamente precoce, boa produtividade e outros atributos favoráveis.

Na Tabela 11, é apresentado o índice de coincidência na seleção de cultivares, considerando as quatro estratégias de ranqueamento, duas a duas, a partir de diferentes intensidades de seleção. Observa-se que, a partir da intensidade de seleção de 20%, há coincidência para todas as combinações de métodos de ranqueamento. A partir da intensidade de seleção de 15%, verificou-se maior coincidência no ranqueamento pela produtividade e pelo índice da soma de postos usando os efeitos diretos como pesos que para as demais comparações de ranqueamento, atingindo coincidência de 100% com a intensidade de seleção de 30%.

Tabela 8 - Correlações entre caracteres e produtividade considerando as diferentes estratégias de análise referente à avaliação de cultivares de soja em Lavras/MG, Ijaci/MG e Itutinga/MG nos anos agrícolas 2014/15 e 2015/16. Lavras - MG, 2017.

Variável	Correlação com PROD											
	Conjunta ^{1/}	Local 1	Local 2	Local 3	Safra 1	Safra 2	S1 L1	S1 L2	S1 L3	S2 L1	S2 L2	S2 L3
NV	0,3674 *	-0,0985	0,4607 *	0,4075 *	0,4984 *	-0,1929	-0,2384	0,6672 *	0,5051 *	-0,1950	-0,0534	-0,1196
NG	0,4190 *	-0,0097	0,4436 *	0,4518 *	0,5661 *	-0,0868	-0,2134	0,6875 *	0,6209 *	0,0661	-0,0080	-0,0047
NGV	-0,0165	0,1452	-0,1062	-0,1316	0,3737 *	0,2015	0,0490	0,2639	0,3992 *	0,3417 *	0,0887	0,0637
P100	0,1220	0,1966	0,2772 *	-0,0015	0,0503	0,2857 *	0,1925	0,1637	-0,0459	0,3426 *	0,3228 *	0,1947
ALT	0,4914 *	0,2004	0,5763 *	0,4519 *	0,7266 *	-0,0521	0,3817 *	0,7227 *	0,7425 *	-0,0287	0,2421	-0,1935
INS	0,6813 *	0,2401	0,7005 *	0,6686 *	0,7986 *	0,2522 *	0,4395 *	0,6596 *	0,7706 *	-0,0473	0,4577 *	0,3319 *
ACAM	0,3505 *	0,0145	0,4771 *	0,2342	0,4099 *	-0,2413	0,0243	0,3236	0,3442 *	-0,0675	-0,0472	-0,3083 *
MA	0,6990 *	0,1404	0,8070 *	0,6200 *	0,7884 *	0,2124	0,0348	0,8227 *	0,6918 *	0,0975	0,3946 *	0,1073

Fonte: Do autor (2017).

*Significativo ao nível de 5% pelo teste de Mantel.

^{1/}Conjunta: Itutinga, Lavras e Ijaci nos anos agrícolas 2014/15 e 2015/16; Local 1: Itutinga nos anos agrícolas 2014/15 e 2015/16; Local 2: Lavras nos anos agrícolas 2014/15 e 2015/16; Local 3: Ijaci nos anos agrícolas 2014/15 e 2015/16; Safra 1: Itutinga, Lavras e Ijaci no ano agrícola 2014/15; Safra 2: Itutinga, Lavras e Ijaci no ano agrícola 2015/16; S1L1: Itutinga no ano agrícola 2014/15; S1L2: Lavras no ano agrícola 2014/15; S1L3: Ijaci no ano agrícola 2014/15; S2L1: Itutinga no ano agrícola 2015/16; S2L2: Lavras no ano agrícola 2015/16; S2L3: Ijaci no ano agrícola 2015/16. PROD: produtividade, sacas/ha; NV: número de legumes por planta; NG: número de grãos por planta; NGV: número de grãos por legume; P100: peso de 100 grãos, g; ALT: Altura, cm; INS: altura de inserção do 1º legume, cm); ACAM: acamamento; MA: maturação absoluta, dias.

Tabela 9 - Efeito direto das variáveis explicativas sobre a produtividade de grãos considerando as diferentes estratégias de análise referente à avaliação de cultivares de soja em Lavras/MG, Ijaci/MG e Itutinga/MG nos anos agrícolas 2014/15 e 2015/16. Lavras - MG, 2017.

Variável	Efeito direto sobre PROD											
	Conjunta ¹	Local 1	Local 2	Local 3	Safra 1	Safra 2	S1 L1	S1 L2	S1 L3	S2 L1	S2 L2	S2 L3
NV	-0,0520	-0,2068	0,2254	0,1762	-0,3453	-0,0812	-0,2812	0,0735	0,1386	-0,2143	0,1717	0,0576
NGV	0,3002	0,1360	0,0608	0,1536	0,2460	0,3975	0,0844	0,0586	0,1279	0,3235	0,3426	0,1460
P100	0,1383	0,2366	0,3536	0,0957	0,1759	0,0264	0,2734	0,3344	0,2889	0,2284	0,2092	0,0709
ALT	0,0983	0,1632	0,0202	0,0907	0,5082	-0,2187	0,4588	0,3397	0,4147	0,0252	0,2003	-0,2103
INS	0,3798	0,1376	0,3180	0,4472	0,1592	0,4851	0,2622	0,0120	0,1986	-0,2934	0,5392	0,4420
ACAM	-0,4523	-0,0822	-0,2629	-0,3364	-0,2238	-0,5770	-0,1360	0,1305	0,0473	0,1604	-0,8629	-0,2976
MA	0,8509	0,2208	0,6302	0,4087	0,6746	0,6469	-0,1179	0,4991	0,2644	0,4985	0,6158	0,1238
R²	0,7361	0,1822	0,8130	0,5660	0,8652	0,5137	0,4067	0,8255	0,7679	0,2815	0,6677	0,3086
Variável Residual	0,5137	0,9043	0,4325	0,6588	0,3671	0,6974	0,7702	0,4177	0,4817	0,8477	0,5765	0,8315

Fonte: Do autor (2017).

¹Conjunta: Itutinga, Lavras e Ijaci nos anos agrícolas 2014/15 e 2015/16; Local 1: Itutinga nos anos agrícolas 2014/15 e 2015/16; Local 2: Lavras nos anos agrícolas 2014/15 e 2015/16; Local 3: Ijaci nos anos agrícolas 2014/15 e 2015/16; Safra 1: Itutinga, Lavras e Ijaci no ano agrícola 2014/15; Safra 2: Itutinga, Lavras e Ijaci no ano agrícola 2015/16; S1L1: Itutinga no ano agrícola 2014/15; S1L2: Lavras no ano agrícola 2014/15; S1L3: Ijaci no ano agrícola 2014/15; S2L1: Itutinga no ano agrícola 2015/16; S2L2: Lavras no ano agrícola 2015/16; S2L3: Ijaci no ano agrícola 2015/16. PROD: produtividade, sacas/ha; NG: número de grãos por planta NGV: número de grãos por legume; P100: peso de 100 grãos, g; ALT: Altura, cm; INS: altura de inserção do 1º legume, cm); ACAM: acamamento; MA: maturação absoluta, dias.

Tabela 10 - Ranqueamento das cultivares por produtividade e pelo índice da soma de postos referente à avaliação de cultivares de soja em Lavras/MG, Ijaci/MG e Itutinga/MG nos anos agrícolas 2014/15 e 2015/16. Lavras - MG, 2017.

Cultivar	PROD (sacas/ha)	ISP	ISP (correlação)	ISP (efeito direto)
NS7000 IPRO	1	5	2	2
NS 7209 IPRO	2	16	20	1
NS 7300 IPRO	3	27	21	3
CG 68 RR	4	11	7	5
CG 7464 RR	5	10	5	4
CD 238 RR	6	20	13	7
FPS Antares RR	7	8	1	6
NS 7338 IPRO	8	24	27	9
CG 8166 RR	9	34	30	11
FPS Netuno RR	10	12	4	8
CG 7665 RR	11	31	29	13
RK 6813 RR	12	17	11	12
97R21	13	28	22	17
RK 5813 RR	14	13	3	15
M7110 IPRO	15	2	8	10
FPS Solar RR	16	9	14	16
CG 67 RR	17	21	24	19
NS 6909 IPRO	18	6	16	14
5G 830 RR	19	29	32	20
NS 5959 IPRO	20	3	10	18
5G 770 RR	21	33	28	23
FPS Atlanta IPRO	22	7	15	21
NS 5909 IPRO	23	1	6	22
5D 690 RR	24	32	35	25
NS 5151 IPRO	25	4	12	24
5D 615 RR	26	19	17	26
FPS Júpiter RR	27	22	25	28
FPS Paranapanema RR	28	18	9	29
FPS Urano RR	29	26	31	27
TMG 716 RR	30	35	33	35
FPS Solimões RR	31	30	26	33
NS 5106 IPRO	32	15	18	30
95R51	33	23	23	32
CD 250	34	25	34	34
FPS Iguaçú RR	35	14	19	31

Fonte: Do autor (2017).

PROD (sacas/ha): ranqueamento por produtividade média em sacas/ha; ISP: ranqueamento pelo índice da soma de postos considerando o mesmo peso para todos os caracteres avaliados; ISP (correlação): ranqueamento pelo índice da soma de postos considerando como peso o valor da correlação entre os caracteres avaliados e a produtividade; ISP (efeito direto): ranqueamento pelo índice da soma de postos considerando como peso o valor do efeito direto dos caracteres avaliados sobre produtividade de grãos.

Tabela 11- Índice de coincidência entre os ranqueamentos por produtividade e pelo índice da soma de postos, a partir de diferentes intensidades de seleção, referente à avaliação de cultivares de soja em Lavras/MG, Ijaci/MG e Itutinga/MG nos anos agrícolas 2014/15 e 2015/16. Lavras - MG, 2017.

Intensidade de seleção (%)	Índice de Coincidência					
	PROD x ISP	PROD x ISP correlação	PROD x ISP efeito direto	ISP x ISP correlação	ISP x ISP efeito direto	ISP correlação x ISP efeito direto
5	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
10	0,00	33,33	33,33	33,33	33,33	66,67
15	0,00	20,00	80,00	40,00	20,00	40,00
20	28,57	42,86	85,71	71,43	28,57	28,57
25	25,00	37,50	87,50	75,00	25,00	25,00
30	30,00	40,00	100,00	80,00	30,00	40,00

Fonte: Do autor (2017).

PROD (sacas/ha): ranqueamento por produtividade média em sacas/ha; ISP: ranqueamento pelo índice da soma de postos considerando o mesmo peso para todos os caracteres avaliados; ISP (correlação): ranqueamento pelo índice da soma de postos considerando como peso o valor da correlação entre os caracteres avaliados e a produtividade; ISP (efeito direto): ranqueamento pelo índice da soma de postos considerando como peso o valor do efeito direto dos caracteres avaliados sobre produtividade de grãos.

5 DISCUSSÃO

Para a obtenção de sucesso na experimentação agrícola é desejável elevada precisão experimental, o que garante estimativas mais acuradas e, conseqüentemente, resultados mais confiáveis. Alguns parâmetros estatísticos têm sido recomendados para a aferição da qualidade de experimentos. No presente trabalho, adotaram-se duas estratégias distintas para a avaliação da precisão, o coeficiente de variação experimental (CV) (PIMENTEL-GOMES, 2009) e a acurácia seletiva (RESENDE; DUARTE, 2007).

A precisão é influenciada tanto pelo caráter como pelo ambiente em questão. O valor do CV depende apenas da variação residual como proporção da média do experimento (RESENDE; DUARTE, 2007). Dessa forma, esperam-se maiores valores de CV para atributos com menores médias (SOARES et al., 2015). Esta é uma possível explicação para a baixa precisão associada ao caráter acamamento, o qual apresentou maiores valores de CV em quase todas as estratégias de análise adotadas (TABELA 5) (TABELAS 1-11, APÊNDICE A). Já para a estimativa da acurácia seletiva, o efeito da média é suprimido, sendo esta sua principal vantagem para a aferição da precisão experimental (RESENDE; DUARTE, 2007).

Observa-se que, de forma geral, as análises individuais apresentam menor precisão quando comparadas à análise conjunta (TABELA 5) (TABELAS 1-11, APÊNDICE A). Esse fato pode ser justificado pelo uso de um maior número de repetições quando se realiza a análise conjunta, o que proporciona maior precisão experimental e menor erro associado às estimativas (PIMENTEL-GOMES, 2009).

Foi observada diferença significativa entre cultivares para a maioria dos caracteres, tanto nas análises individuais por ambiente como nas análises conjuntas por local, safra e total. Em outros trabalhos relatados na literatura também foi observada diferença significativa entre cultivares de soja na região (GESTEIRA et al., 2015; SILVA, 2016). Essa variação no comportamento das cultivares pode ser explicada principalmente pelo *background* genético das cultivares, ou seja, diferenças quanto à maturação absoluta e hábito de crescimento, além de resistência a diferentes patógenos.

Verificou-se também o efeito do ambiente na expressão da maioria dos caracteres avaliados nas diferentes estratégias de análise adotadas. O efeito ambiental se deve à combinação de fatores previsíveis e imprevisíveis (ALLARD; BRADSHAW, 1964) uma vez que as cultivares foram testadas em dois anos agrícolas e em diferentes localidades da região sul do estado de Minas Gerais.

O efeito da interação GA observado em grande parte dos caracteres nas análises conjuntas por local, safra e total é resultante da combinação dos fatores ambientais associados às cultivares. A partir desses resultados é possível inferir que as cultivares não apresentaram comportamento coincidente nos diferentes ambientes. Na literatura, são reportados outros trabalhos, realizados para a cultura da soja no sul do estado de Minas Gerais, nos quais também ocorreu interação GA (GESTEIRA et al., 2015; SILVA et al., 2016, 2017; SOARES et al., 2015).

A decomposição da soma de quadrados em seus componentes, considerando todos os ambientes avaliados, permitiu a estimação da magnitude dos efeitos da interação GA, do ambiente e do genótipo sobre todos os caracteres avaliados. Como observado na Tabela 6, o caráter que sofreu maior influência da interação GA foi o número de grãos por legume (48,61%). Já a altura de planta foi o caráter que sofreu menor efeito da interação GA (4,93%).

Considerando o caráter produtividade de grãos, observou-se que 31,7% da variação obtida é resultado dos efeitos da interação GA, o qual é superior ao efeito do genótipo (24,29%). Tais resultados corroboram trabalhos reportados na literatura (GURMU; MOHAMMED; ALEMAW, 2009; SALMERON et al., 2014) em que o efeito da interação GA pode superar o efeito do genótipo na variação da produtividade de grãos.

Ao analisar as correlações entre produtividade de grãos e os demais caracteres avaliados, notou-se expressiva alteração quanto à magnitude e sentido entre as diferentes estratégias de análise, ou seja, análises individuais e conjuntas por safra, local e total. Resultados semelhantes foram obtidos por Carvalho et al. (2002) e Nogueira et al. (2012), os quais verificaram que a magnitude das correlações entre caracteres em soja foi alta, com oscilação dependendo da época de semeadura. Uma provável explicação para a alteração das correlações entre caracteres em soja é a interação GA. Nesse caso, o fator ambiental pode ser atribuído às diferenças de clima e solo entre os locais e anos agrícolas avaliados.

Os maiores valores de correlação positiva e significativa com a produtividade de grãos foram observados para os caracteres maturação absoluta (0,6990) e altura de inserção do primeiro legume (0,6813) (TABELA 8). Nogueira et al. (2012) e Silva et al. (2016) também encontraram correlação positiva e significativa entre produtividade de grãos e altura de inserção do primeiro legume em soja (0,23 e 0,579, respectivamente). Leite et al. (2015) também relatam correlação positiva entre esses dois caracteres (0,252), porém, não significativa. Já Teodoro et al. (2015) identificaram correlação fenotípica negativa e não significativa entre esses caracteres, com valor de -0,3275 para cultivares com crescimento indeterminado e -0,2758 para cultivares com crescimento determinado. Quanto à correlação

entre produtividade de grãos e maturação absoluta, Peluzio et al. (2005) encontraram estimativa positiva e não significativa entre esses caracteres (0,6091). Gesteira et al. (2015) verificaram que existe associação positiva e de alta magnitude entre a produtividade de grãos e a maturação absoluta, e também associação negativa e de alta magnitude entre os caracteres produtividade e teor de proteína, maturação absoluta e teor de proteína e entre os teores de óleo e proteína nos grãos.

Para fins de melhoramento, é importante identificar os caracteres de alta correlação com o caráter principal com maior efeito direto em sentido favorável à seleção, de modo que a resposta correlacionada por meio da seleção indireta seja eficiente (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012). Essas estimativas podem ser obtidas por meio da análise de trilha (TABELAS 12-23, APÊNDICE A).

Os maiores valores dos efeitos diretos sobre produtividade de grãos foram observados para maturação absoluta e inserção do primeiro legume (TABELA 9). Estudos realizados por Iqbal et al. (2003) e Nogueira et al. (2012) apresentaram maior efeito direto sobre produtividade de grãos para os caracteres número de legumes por planta, peso de 100 grãos e número de grãos por legume. Teodoro et al. (2015) verificaram que, em cultivares de crescimento determinado, o número de legumes por planta e o número de ramificações apresentaram maior efeito direto sobre a produtividade de grãos. Já, para cultivares de crescimento indeterminado, além desses dois caracteres citados, a altura de planta também tem efeito direto elevado sobre a produtividade de grãos.

A diferença observada na magnitude dos efeitos diretos dos caracteres sobre a produtividade de grãos, quando se consideram as diferentes estratégias de análise adotadas, evidencia a influência de locais e safras na associação entre os caracteres. Destaca-se então a importância de realizar a avaliação de genótipos em diferentes locais e anos agrícolas para a obtenção de resultados mais acurados, principalmente quando se deseja realizar a seleção indireta de caracteres. Entretanto, na maioria das estratégias de análise adotadas, os efeitos diretos dos caracteres avaliados foram inferiores ao efeito residual, evidenciando que a seleção indireta por meio desses caracteres pode não resultar em ganhos. Além disso, os baixos coeficientes de determinação obtidos nessas estratégias de análise indicam a necessidade de inclusão de novos caracteres no diagrama de trilha.

Uma metodologia muito útil para a identificação e seleção de cultivares superiores, que associem bons atributos para vários caracteres, é o emprego de índices de seleção. No presente trabalho, foi adotado o índice da soma de postos (ISP). Esse índice foi calculado de três maneiras: a primeira utilizando o mesmo peso econômico para todos os caracteres

avaliados, a segunda utilizando como peso econômico dos caracteres avaliados a correlação desses caracteres com a produtividade de grãos e a terceira, utilizando como peso econômico o efeito direto desses caracteres sobre a produtividade de grãos.

Ao comparar o ranqueamento das cultivares por produtividade, assim como pelo índice, considerando os diferentes pesos econômicos (TABELA 10), observa-se que há grande semelhança entre classificação por produtividade de grãos e pelo ISP que utiliza o efeito direto como peso econômico. Esse resultado evidencia que, embora o índice de seleção contemple mais caracteres, a produtividade é um excelente caráter para se identificar os melhores genótipos. Além disso, verifica-se que o uso do efeito direto pode ser mais eficiente na seleção de cultivares superiores quando comparado ao uso da correlação entre caracteres, como sugerido por Resende (2007).

O índice de coincidência foi obtido para verificar a similaridade na classificação de cultivares comparando as diferentes estratégias utilizadas e desconsiderando o acaso. Na Tabela 11, pode-se observar que a partir da intensidade de seleção de 15%, há maior coincidência entre os ranqueamentos por produtividade e pelo ISP que utiliza o efeito direto como peso econômico na seleção de cultivares superiores. Essa coincidência chega a 100% com a proporção de selecionados de 30%, enquanto nas demais comparações, a coincidência máxima com a produtividade é de 42,86%. Pode-se inferir então que os índices de seleção foram eficientes na classificação das melhores cultivares. Soares et al. (2015), ao adotarem o índice da soma de postos também verificaram que este foi eficiente na seleção de novas cultivares de soja.

Como houve diferença na classificação de cultivares entre as diferentes estratégias, é possível inferir que a utilização de apenas um método estatístico pode não ser tão eficiente como o agrupamento de estratégias de análise para a identificação de cultivares superiores.

6 CONCLUSÕES

Os caracteres altura de inserção do primeiro legume e maturação absoluta apresentaram maiores estimativas de correlação com a produtividade de grãos.

Os maiores valores de efeito direto sobre a produtividade foram obtidos para os caracteres maturação absoluta e altura de inserção do primeiro legume.

As estimativas de correlação assim como seus desdobramentos em efeitos diretos e indiretos apresentam expressiva alteração quanto à magnitude e sentido, considerando as diferentes estratégias de análise, evidenciando assim o efeito da interação genótipos x ambientes na associação entre os caracteres.

Há maior coincidência no ranqueamento de cultivares pela produtividade e pelo índice da soma de postos que utiliza o efeito direto como peso econômico, evidenciando que este pode ser mais eficiente na seleção de cultivares superiores considerando múltiplos caracteres.

REFERÊNCIAS

- ALCANTARA NETO, F. de et al. Análise de trilha do rendimento de grãos de soja na microrregião do Alto Médio Gurguéia. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 2, n. 2, p. 107-112, 2011.
- ALLARD, R. W.; BRADSHAW, A. D. Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. **Crop Science**, Madison, v. 4, n. 5, p. 503-508, 1964.
- ALMEIDA, L. A.; KIIHL, R. A. S. Melhoramento de soja no Brasil: desafios e perspectivas. In: CÂMARA, G. M. S. (Ed.). **Soja: tecnologia da produção**. Piracicaba: Publique, 1998. p. 26-39.
- ALMEIDA, R. D.; PELUZIO, J. M.; AFFERRI, F. S. Correlações fenotípicas, genotípicas e ambientais em soja cultivada sob condições de várzea irrigada, no sul do Tocantins. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 1, p. 95-99, jan./fev. 2010.
- ARSHAD, M.; ALI, N.; GHAFOR, A. Character correlation and path coefficient in Soybean (*Glycine max* Merrill). **Pakistan Journal of Botany**, Karachi, v. 38, p. 121-130, 2006.
- AZEVEDO FILHO, J. A. de; VELLO, N. A.; GOMES, R. L. F. Estimativas de parâmetros genéticos de populações de soja em solos contrastantes na saturação de alumínio. **Bragantia**, Campinas, v. 57, n. 2, p. 227-239, 1998.
- BACKES, R. L. et al. Estimativas de parâmetros genéticos em populações F5 e F6 de soja. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 49, p. 201-216, 2002.
- BARASKAR, V. V. et al. Correlation and path analysis for seed yield in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. **Electronic Journal of Plant Breeding**, Berlin, v. 6, n. 2, p. 570-573, June 2015.
- BÁRBARO, I. M. et al. Comparação de estratégias de seleção no melhoramento de populações F5 de soja. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 54, p. 250-261, 2007.
- BARROS, H. B.; SEDIYAMA, T. Luz, umidade e temperatura. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). **Tecnologia de produção e usos de soja**. Londrina: Mecnas, 2009. p. 17-27.
- BERNARD, R. L. et al. **Results of the cooperative uniform soybeans tests**. Washington: USDA, 1965. 134 p.
- BIZARI, E. H. et al. Selection indices for agronomic traits in segregating populations of soybean. **Revista Ciências Agrônômicas**, Fortaleza, v. 48, n. 1, p. 110-117, mar. 2017.
- BIZETI, H. S. et al. Path analysis under multicollinearity in soybean. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 47, n. 5, p. 669-676, 2004.
- CÂMARA, G. M. S. Fenologia da soja. In: _____. **Soja: tecnologia da produção**. Piracicaba: Publique, 1998. p. 26-39.

CARVALHO, C. G. P. et al. Correlações e análise de trilha em linhagens de soja semeadas em diferentes épocas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 3, p. 311-320, mar. 2002.

CARVALHO, S. P. **Métodos alternativos de estimação de coeficientes de trilha e índices de seleção, sob multicolinearidade**. 1995. 163 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1995.

CARVALHO, S. P.; CRUZ, C. D. Diagnosis of multicollinearity: assessment of the condition of correlation matrices used in genetic studies. **Brazilian Journal of Genetics**, Ribeirão Preto, v. 19, n. 3, p. 479-484, Sept. 1996.

CHAVAN, B. H. et al. Correlation and path analysis in soybean. **International Research Journal of Multidisciplinary Studies**, Pune, v. 2, n. 9, p. 2454-8499, 2016.

CHAVES, L. J. Interação de genótipos com ambientes. In: NASS, L. L. et al. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento: plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 673-713.

CRUZ, C. D. **Aplicação de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas**. 1990. 188 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1990.

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

CRUZ, C. D. A informática no melhoramento genético. In: NASS, L. L. et al. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento: plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 1087-1118.

CRUZ, C. D. **Programa GENES: estatística experimental e matrizes**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2006. 285 p.

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

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

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil**. Brasília, DF, 2004. (Sistema de Produção, 1). Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/SojanoBrasil.htm>>. Acesso em: 3 maio 2016.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. **Introduction to quantitative genetics**. London: Longman Malaysia, 1966. 463 p.

FEHR, W. R.; CAVINESS, J. A. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University, 1977. 11 p. (Special Report, 80).

GESTEIRA, G. S. et al. Seleção fenotípica de cultivares de soja precoce para a região Sul de Minas Gerais. **Revista Agrogeoambiental**, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p. 79-88, 2015.

GHODRATI, G. R. et al. Evaluation of correlations and path analysis of components seed yield in soybean. **International Journal of Agriculture: Research and Review**, Faisalabad, v. 3, n. 4, p. 795-800, 2013.

GURMU, F.; MOHAMMED, H.; ALEMAW, G. Genotype x environment interactions and stability of soybean for grain yield and nutrition quality. **African Crop Science Journal**, Dhaka, v. 17, n. 2, p. 87-99, 2009.

HAMBILN, J.; ZIMMERMANN, M. J. de O. Breeding common bean for yield mixtures. **Plant Breeding Reviews**, New York, v. 4, p. 245-272, 1986.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. Disponível em:

<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 15 fev. 2017.

IQBAL, S. et al. Path coefficient analysis in different genotypes of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). **Pakistan Journal of Biological Sciences**, Lahore, v. 12, p. 1085-1087, 2003.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Multivariate distributions: applied multivariate statistical analysis**. New Jersey: Pearson, 2007. 488 p.

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.

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

LEITE, W. S. et al. Estimativa de parâmetros genéticos e correlações entre caracteres agrônômicos em genótipos de soja. **Revista Nativa**, Sinop, v. 3, n. 4, p. 241-245, 2015.

LIN, C. Y. Index selection for genetic improvement of quantitative characters. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 52, p. 49-56, 1978.

MATSUO, E.; FERREIRA, S. C.; SEDIYAMA, T. Botânica e fenologia. In: SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. (Ed.). **Soja do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015. p. 27-53.

MONTEVERDE, E. Correlaciones fenotípicas y genotípicas entre rendimiento, proteína, aceite y otras características em soya (*Glycine max*). **Revista de la Facultad de Agronomía**, Macaray, 13, n. 1/4, p. 183-214, 1984.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. **Introduction to linear regression analysis**. New York: J. Wiley, 1981. 504 p.

- MULAMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potential of Elo Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. **Journal of Genetics and Cytology**, Alexandria, v. 7, p. 40-51, 1978.
- MÜLLER, L. Morfologia, anatomia e desenvolvimento. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J. C. (Ed.). **A soja no Brasil**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1981. p. 73-104.
- MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. **Soja**: fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos. Porto Alegre: Evangraf, 2005. 31 p.
- NOGUEIRA, O. P. A. et al. Análise de trilha e correlações entre caracteres em soja cultivada em duas épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 6, p. 877-888, nov./dez. 2012.
- NOGUEIRA, O. P. A. et al. Morfologia, crescimento e desenvolvimento. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina: Macenas, 2009. p. 7-16.
- PELUZIO, J. M. et al. Correlação entre caracteres de soja, em Gurupi, Tocantins. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 52, n. 303, p. 779-786, 2005.
- PERINI, L. J. et al. Componentes da produção em cultivares de soja com crescimento determinado e indeterminado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, p. 2531-2544, 2012. Suplemento 1.
- PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: Ed. ESALQ, 2009. 451 p.
- PIPOLO, A. E. et al. **Teores de óleo e proteína em soja**: fatores envolvidos e qualidade para a indústria. Londrina: EMBRAPA Soja, 2015. (Comunicado Técnico, 86). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1025298/1/comunicadotecnic_o86OL.pdf>. Acesso em: 5 jul. 2017.
- R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2015. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 10 mar. 2016.
- RAMALHO, M. A. P. et al. A interação genótipos por ambientes. In: _____. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: Ed. UFLA, 2012a. p. 365-456.
- RAMALHO, M. A. P. et al. Seleção simultânea para várias características. In: _____. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: Ed. UFLA, 2012b. p. 295-332.
- RESENDE, M. D. V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2007. 339 p.
- RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 3, n. 37, p. 182-194, 2007.

RODRIGUES, J. I. D. et al. Mapping QTL for protein and oil content in soybean. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 45, n. 5, p. 472-480, maio 2010.

SALMERON, M. et al. Soybean maturity group choices for early and late plantings in the Midsouth. **Agronomy Journal**, Madison, v. 106, n. 5, p. 1893-1901, 2014.

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

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C.; BARROS, H. B. Cultivares. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). **Tecnologia de produção e usos de soja**. Londrina: Mecenas, 2009. p. 77-91.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C.; REIS, M. S. Melhoramento da soja. In: BOREM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 1999. p. 487-533.

SIAHBIDI, M. M. P. et al. Character association and path analysis of soybean (*Glycine max* L.) genotypes under water deficit stress. **International Journal of Biosciences**, Bangladesh, v. 3, n. 10, p. 126-132, Oct. 2013.

SILVA, A. F. Cultivares. In: SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. (Ed.). **Soja do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015. p. 149-167.

SILVA, A. F. et al. Correlation and path analysis of soybean yield components. **International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences**, Allahabad, v. 5, n. 1, p. 177-179, 2015.

SILVA, K. B. **Plasticidade fenotípica e análise de QTL para qualidade de sementes em soja**. 2016. 108 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

SILVA, K. B. et al. Adaptability and phenotypic stability of soybean cultivars for grain yield and oil content. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 15, n. 2, 2016.
Disponível em: <<https://www.embrapa.br/web/mobile/publicacoes/-/publicacao/1051047/adaptability-and-phenotypic-stability-of-soybean-cultivars-for-grain-yield-and-oil-content>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

SILVA, K. B. et al. Adaptability and stability of soybean cultivars for grain yield and seed quality. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 15, p. 1-15, 2017.

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

SOUZA JÚNIOR, C. L. de. Melhoramento de espécies alógamas. In: NASS, L. L. et al. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento: plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 159-199.

TAJUDDIN, T. Analysis of quantitative trait loci for protein and lipids contents in soybean seeds using recombinant inbred lines. **Breeding Science**, Tokyo, v. 53, n. 2, p. 133-140, 2003.

TEODORO, P. E. et al. Path analysis in soybean genotypes as function of growth habit. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 3, p. 794-799, May/June 2015.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496 p.

VERNETTI, F. J. Morfologia, anatomia e desenvolvimento. In: _____. **Soja: planta, clima, pragas, moléstias e invasoras**. Campinas: Fundação Cargill, 1983. v. 1, p. 17-89.

WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v. 20, p. 557-585, Jan. 1921.

WRIGHT, S. Method of path coefficients. **Statistics**, Beachwood, v. 5, n. 3, p. 161-215, Apr. 1934.

APÊNDICE A - TABELAS

Tabela 1 - Resumo da análise de variância referente à avaliação de cultivares de soja em Itutinga/MG no ano agrícola 2014/15. Lavras - MG, 2017.

FV	GL	QM								
		PROD	NV	NG	NGV	P100	ALT	INS	ACAM	MA
Cultivares	34	202,96*	281,84*	1324,63*	0,18*	11,97*	547,38*	50,42*	0,63*	165,96*
Erro Médio		69,80	132,60	514,00	0,07	6,80	46,00	5,30	0,42	11,70
Média		54,45	32,71	63,12	1,95	17,06	75,78	19,11	1,20	123,79
CV (%)		15,40	29,84	33,59	12,47	11,82	18,14	21,68	38,23	6,51
Acurácia (%)		81,00	72,77	78,23	79,22	65,72	95,71	94,60	57,48	96,41

Fonte: Do autor (2017).

*Significativo à 5% de probabilidade pelo teste F.

PROD: produtividade, sacas/ha; NV: número de legumes por planta; NG: número de grãos por planta
 NGV: número de grãos por legume; P100: peso de 100 grãos, g; ALT: Altura, cm; INS: altura de inserção do 1º legume, cm); ACAM: acamamento; MA: maturação absoluta, dias.

Tabela 2 - Resumo da análise de variância referente à avaliação de cultivares de soja em Lavras/MG no ano agrícola 2014/15. Lavras - MG, 2017.

FV	GL	QM								
		PROD	NV	NG	NGV	P100	ALT	INS	ACAM	MA
Cultivares	34	591,00*	468,12*	1775,78	0,09	19,55*	311,19*	15,71*	0,00	160,36*
Erro Médio		69,80	132,60	514,00	0,07	6,80	46,00	5,30	0,42	11,70
Média		48,12	39,13	74,26	1,78	18,60	50,18	9,71	1,00	128,09
CV (%)		29,17	31,93	32,76	9,66	13,73	20,41	23,67	0,00	5,74
Acurácia (%)		93,91	84,66	84,29	50,99	80,75	92,31	81,40	-	96,28

Fonte: Do autor (2017).

*Significativo à 5% de probabilidade pelo teste F.

PROD: produtividade, sacas/ha; NV: número de legumes por planta; NG: número de grãos por planta
 NGV: número de grãos por legume; P100: peso de 100 grãos, g; ALT: Altura, cm; INS: altura de inserção do 1º legume, cm); ACAM: acamamento; MA: maturação absoluta, dias.

Tabela 3 - Resumo da análise de variância referente à avaliação de cultivares de soja em Ijaci/MG no ano agrícola 2014/15. Lavras - MG, 2017.

FV	GL	QM								
		PROD	NV	NG	NGV	P100	ALT	INS	ACAM	MA
Cultivares	34	1108,44*	624,51*	2368,86	0,11	22,04*	564,70*	33,62*	0,39*	100,08*
Erro		75,73	225,04	831,18	0,08	1,42	33,20	2,97	0,04	6,26
Erro Conjunta		69,80	132,60	514,00	0,07	6,80	46,00	5,30	0,42	11,70
Média		65,80	50,92	84,92	1,67	19,26	66,95	13,30	1,10	128,20
CV (%)		29,43	29,14	33,72	12,02	14,15	20,49	25,17	32,54	4,51
Acurácia (%)		96,80	88,75	88,49	65,11	83,16	95,84	91,78	-	93,97

Fonte: Do autor (2017).

*Significativo à 5% de probabilidade pelo teste F.

PROD: produtividade, sacas/ha; NV: número de legumes por planta; NG: número de grãos por planta
 NGV: número de grãos por legume; P100: peso de 100 grãos, g; ALT: Altura, cm; INS: altura de
 inserção do 1º legume, cm); ACAM: acamamento; MA: maturação absoluta, dias.

Tabela 4 - Resumo da análise de variância referente à avaliação de cultivares de soja em Itutinga/MG no ano agrícola 2015/16. Lavras - MG, 2017.

FV	GL	QM								
		PROD	NV	NG	NGV	P100	ALT	INS	ACAM	MA
Cultivares	34	66,54*	100,49*	259,47	0,17*	8,79*	537,26*	66,95*	1,52*	72,48*
Erro médio		69,80	132,60	514,00	0,07	6,80	46,00	5,30	0,42	11,70
Média		33,27	32,58	62,71	1,95	19,72	82,47	17,27	1,43	112,53
CV (%)		14,28	17,97	14,93	12,24	8,91	16,23	27,35	49,84	4,37
Acurácia (%)		-	-	-	78,42	47,58	95,62	95,96	85,00	91,57

Fonte: Do autor (2017).

*Significativo à 5% de probabilidade pelo teste F.

PROD: produtividade, sacas/ha; NV: número de legumes por planta; NG: número de grãos por planta
 NGV: número de grãos por legume; P100: peso de 100 grãos, g; ALT: Altura, cm; INS: altura de
 inserção do 1º legume, cm); ACAM: acamamento; MA: maturação absoluta, dias.

Tabela 5 - Resumo da análise de variância referente à avaliação de cultivares de soja em Lavras/MG no ano agrícola 2015/16. Lavras - MG, 2017.

FV	GL	QM								
		PROD	NV	NG	NGV	P100	ALT	INS	ACAM	MA
Cultivares	34	165,16*	527,16*	1614,95*	0,11*	14,51*	777,61*	35,00*	3,69*	147,57*
Erro médio		69,80	132,60	514,00	0,07	6,80	46,00	5,30	0,42	11,70
Média		55,25	44,77	91,29	2,07	20,28	87,34	15,35	2,14	119,27
CV (%)		13,43	29,61	25,42	9,34	10,85	18,43	22,60	52,45	5,95
Acurácia (%)		75,99	86,51	82,57	64,12	72,88	97,00	92,12	94,10	95,95

Fonte: Do autor (2017).

*Significativo à 5% de probabilidade pelo teste F.

PROD: produtividade, sacas/ha; NV: número de legumes por planta; NG: número de grãos por planta
 NGV: número de grãos por legume; P100: peso de 100 grãos, g; ALT: Altura, cm; INS: altura de
 inserção do 1º legume, cm); ACAM: acamamento; MA: maturação absoluta, dias.

Tabela 6 - Resumo da análise de variância referente à avaliação de cultivares de soja em Ijaci/MG no ano agrícola 2015/16. Lavras - MG, 2017.

FV	GL	QM								
		PROD	NV	NG	NGV	P100	ALT	INS	ACAM	MA
Cultivares	34	346,46*	416,45	1084,90	0,17*	37,68	515,67*	23,87*	2,94*	27,57*
Erro Médio		69,80	132,60	514,00	0,07	6,80	46,00	5,30	0,42	11,70
Média		58,81	47,69	88,13	1,88	21,72	109,39	20,13	2,04	129,08
CV (%)		18,27	24,73	21,69	12,84	16,32	11,99	14,02	48,54	2,35
Acurácia (%)		89,36	82,56	72,54	78,63	90,53	95,44	88,20	92,54	75,87

Fonte: Do autor (2017).

*Significativo à 5% de probabilidade pelo teste F.

PROD: produtividade, sacas/ha; NV: número de legumes por planta; NG: número de grãos por planta
 NGV: número de grãos por legume; P100: peso de 100 grãos, g; ALT: Altura, cm; INS: altura de
 inserção do 1º legume, cm); ACAM: acamamento; MA: maturação absoluta, dias.

Tabela 7 - Resumo da análise de variância conjunta referente à avaliação de cultivares de soja em Lavras/MG, Ijaci/MG e Itutinga/MG no ano agrícola 2014/15. Lavras - MG, 2017.

FV	GL	QM								
		PROD	NV	NG	NGV	P100	ALT	INS	ACAM	MA
Cultivares	34	1320,20*	881,50*	3684,10*	0,16*	47,100*	1302,20*	83,13*	0,54*	350,77*
Locais	2	8534,00*	8819,60*	12251,20*	2,21*	131,54*	17556,00*	2347,38*	1,07*	705,37*
CxL	68	291,70*	254,00*	906,60*	0,11*	3,45*	61,00*	8,30*	0,24*	40,41*
Erro Médio		69,80	132,60	514,00	0,07	6,80	46,00	5,30	0,42	11,70
Média		56,12	40,99	74,07	1,80	18,32	64,37	14,04	1,10	126,65
CV (%)		21,66	24,98	27,51	7,31	12,54	18,81	21,82	22,34	5,02
Acurácia (%)		97,32	92,17	92,76	75,99	92,50	98,22	96,76	47,36	98,32

Fonte: Do autor (2017).

*Significativo à 5% de probabilidade pelo teste F.

PROD: produtividade, sacas/ha; NV: número de legumes por planta; NG: número de grãos por planta
 NGV: número de grãos por legume; P100: peso de 100 grãos, g; ALT: Altura, cm; INS: altura de
 inserção do 1º legume, cm); ACAM: acamamento; MA: maturação absoluta, dias.

Tabela 8 - Resumo da análise de variância conjunta referente à avaliação de cultivares de soja em Lavras/MG, Ijaci/MG e Itutinga/MG no ano agrícola 2015/16. Lavras - MG, 2017.

FV	GL	QM								
		PROD	NV	NG	NGV	P100	ALT	INS	ACAM	MA
Cultivares	34	365,90*	753,50*	1774,60*	0,29*	34,62*	1671,70*	96,88*	6,24*	172,20*
Locais	2	20032,50*	6659,50*	25427,90*	1,01*	111,41*	21579,20*	607,75*	15,29*	7258,70*
CxL	68	98,30	149,10	606,20	0,08	13,11	79,50*	14,75*	0,96	37,80*
Erro Médio		69,80	132,60	514,00	0,07	6,80	46,00	5,30	0,42	11,70
Média		49,18	41,75	80,93	1,97	20,57	93,09	17,59	1,87	120,32
CV (%)		13,09	22,10	17,46	9,13	9,64	14,64	18,71	44,69	3,64
Acurácia (%)		89,96	90,78	84,28	87,83	89,64	98,61	97,23	96,56	96,54

Fonte: Do autor (2017).

*Significativo à 5% de probabilidade pelo teste F.

PROD: produtividade, sacas/ha; NV: número de legumes por planta; NG: número de grãos por planta
NGV: número de grãos por legume; P100: peso de 100 grãos, g; ALT: Altura, cm; INS: altura de
inserção do 1º legume, cm); ACAM: acamamento; MA: maturação absoluta, dias.

Tabela 9 - Resumo da análise de variância conjunta referente à avaliação de cultivares de soja em Itutinga/MG nos anos agrícolas 2014/15 e 2015/16. Lavras - MG, 2017.

FV	GL	QM								
		PROD	NV	NG	NGV	P100	ALT	INS	ACAM	MA
Cultivares	34	197,50*	207,93*	787,59*	0,24*	18,63*	1015,70*	107,159*	1,51*	166,60*
Safras	1	23144,20*	3,01	23,94	0,00	362,63*	2344,20*	173,91*	2,76*	6212,90*
CxS	34	73,30	172,87*	792,15*	0,11*	2,60*	64,01*	10,57*	0,64*	61,50*
Erro Médio		69,80	132,60	514,00	0,07	6,80	46,00	5,30	0,42	11,70
Média		43,89	32,68	63,04	1,95	18,40	79,14	18,18	1,31	117,89
CV (%)		13,21	18,08	18,36	10,26	9,79	16,59	23,39	38,26	4,62
Acurácia (%)		80,41	60,19	58,94	84,99	79,69	97,71	97,50	84,93	96,42

Fonte: Do autor (2017).

*Significativo à 5% de probabilidade pelo teste F.

PROD: produtividade, sacas/ha; NV: número de legumes por planta; NG: número de grãos por planta
NGV: número de grãos por legume; P100: peso de 100 grãos, g; ALT: Altura, cm; INS: altura de
inserção do 1º legume, cm); ACAM: acamamento; MA: maturação absoluta, dias.

Tabela 10 - Resumo da análise de variância conjunta referente à avaliação de cultivares de soja em Lavras/MG nos anos agrícolas 2014/15 e 2015/16. Lavras - MG, 2017.

FV	GL	QM								
		PROD	NV	NG	NGV	P100	ALT	INS	ACAM	MA
Cultivares	34	479,76*	824,91*	2556,00*	0,12	27,89*	942,00*	38,13*	1,80*	292,70*
Safras	1	2668,88*	1645,96*	15102,10*	4,32*	147,76*	71240,00*	1625,24*	66,32*	3981,70*
CxS	34	276,40*	170,64*	835,60*	0,08*	6,16*	136,00*	11,76*	1,89*	15,60
Erro Médio		69,80	132,60	514,00	0,07	6,80	46,00	5,30	0,42	11,70
Média		51,68	41,92	82,72	1,93	19,44	68,89	12,54	1,57	123,76
CV (%)		17,30	27,97	24,95	7,26	11,09	18,21	20,22	35,07	5,68
Acurácia (%)		92,44	91,61	89,38	66,20	86,96	97,53	92,79	87,50	97,98

Fonte: Do autor (2017).

*Significativo à 5% de probabilidade pelo teste F.

PROD: produtividade, sacas/ha; NV: número de legumes por planta; NG: número de grãos por planta
NGV: número de grãos por legume; P100: peso de 100 grãos, g; ALT: Altura, cm; INS: altura de
inserção do 1º legume, cm); ACAM: acamamento; MA: maturação absoluta, dias.

Tabela 11 - Resumo da análise de variância conjunta referente à avaliação de cultivares de soja em Ijaci/MG nos anos agrícolas 2014/15 e 2015/16. Lavras - MG, 2017.

FV	GL	QM								
		PROD	NV	NG	NGV	P100	ALT	INS	ACAM	MA
Cultivares	34	817,70*	629,00*	1790,46*	0,0760	36,39*	924,00*	41,63*	2,08*	86,18*
Safras	1	2616,45*	554,63	524,03	2,33*	311,12*	94535,00*	2448,04*	45,73*	40,31*
CxS	34	638,26*	415,39*	1657,80*	0,21*	23,22	156,00*	15,86*	1,24*	41,47*
Erro Médio		69,80	132,60	514,00	0,07	6,80	46,00	5,30	0,42	11,70
Média		62,33	49,41	86,86	1,77	20,50	88,17	16,71	1,57	128,64
CV (%)		18,80	20,98	20,14	6,39	12,02	14,08	15,76	37,48	2,95
Acurácia (%)		95,64	88,84	84,43	36,36	90,18	97,48	93,42	89,29	92,96

Fonte: Do autor (2017).

*Significativo à 5% de probabilidade pelo teste F.

PROD: produtividade, sacas/ha; NV: número de legumes por planta; NG: número de grãos por planta; NGV: número de grãos por legume; P100: peso de 100 grãos, g; ALT: Altura, cm; INS: altura de inserção do 1º legume, cm); ACAM: acamamento; MA: maturação absoluta, dias.

Tabela 12 - Efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre a produtividade de grãos referente à avaliação de cultivares de soja em Itutinga/MG no ano agrícola 2014/15. Lavras - MG, 2017.

Variável	Efeito sobre PROD							TOTAL
	via NV	via NGV	via P100	via ALT	via INS	via ACAM	via MA	
NV	-0,2812	-0,0067	-0,0097	0,1135	0,0216	-0,0283	-0,0477	-0,2384
NGV	0,0224	0,0844	0,0129	-0,0500	-0,0292	-0,0117	0,0201	0,0490
P100	0,0100	0,0040	0,2734	-0,1117	-0,0456	0,0310	0,0315	0,1925
ALT	-0,0696	-0,0092	-0,0666	0,4588	0,2131	-0,0749	-0,0699	0,3817
INS	-0,0232	-0,0094	-0,0476	0,3728	0,2622	-0,0448	-0,0706	0,4395
ACAM	-0,0585	0,0073	-0,0623	0,2526	0,0863	-0,1360	-0,0652	0,0243
MA	-0,1137	-0,0144	-0,0730	0,2720	0,1570	-0,0752	-0,1179	0,0348
COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO								0,4067
EFEITO DA VARIÁVEL RESIDUAL								0,7702

Fonte: Do autor (2017).

PROD: produtividade, sacas/ha; NG: número de grãos por planta; NGV: número de grãos por legume; P100: peso de 100 grãos, g; ALT: Altura, cm; INS: altura de inserção do 1º legume, cm); ACAM: acamamento; MA: maturação absoluta, dias.

Tabela 13 - Efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre a produtividade de grãos referente à avaliação de cultivares de soja em Lavras/MG no ano agrícola 2014/15. Lavras - MG, 2017.

Variável	Efeito sobre PROD							TOTAL
	via NV	via NGV	via P100	via ALT	via INS	via ACAM	via MA	
NV	0,073523	0,005133	-0,1306	0,280341	0,007845	0,050672	0,380288	0,6672
NGV	0,00644	0,058607	0,015929	0,031489	0,001283	0,018759	0,131402	0,2639
P100	-0,02872	0,002792	0,334372	-0,07935	-0,00158	-0,03468	-0,0291	0,1637
ALT	0,060671	0,005432	-0,0781	0,339729	0,010125	0,044254	0,340578	0,7227
INS	0,048117	0,006272	-0,0441	0,286952	0,011988	0,052936	0,297469	0,6596
ACAM	0,028545	0,008424	-0,08885	0,115195	0,004862	0,130513	0,12488	0,3236
MA	0,056025	0,015431	-0,01949	0,231844	0,007145	0,032658	0,499059	0,8227
COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO								0,8255
EFEITO DA VARIÁVEL RESIDUAL								0,4177

Fonte: Do autor (2017).

PROD: produtividade, sacas/ha; NG: número de grãos por planta NGV: número de grãos por legume; P100: peso de 100 grãos, g; ALT: Altura, cm; INS: altura de inserção do 1º legume, cm); ACAM: acamamento; MA: maturação absoluta, dias.

Tabela 14 - Efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre a produtividade de grãos referente à avaliação de cultivares de soja em Ijaci/MG no ano agrícola 2014/15. Lavras - MG, 2017.

Variável	Efeito sobre PROD							TOTAL
	via NV	via NGV	via P100	via ALT	via INS	via ACAM	via MA	
NV	0,1386	0,0159	-0,1507	0,2712	0,1170	0,0020	0,1110	0,5051
NGV	0,0173	0,1279	-0,0732	0,1688	0,0597	0,0152	0,0835	0,3992
P100	-0,0723	-0,0324	0,2889	-0,1865	-0,0310	-0,0066	-0,0060	-0,0459
ALT	0,0906	0,0521	-0,1299	0,4147	0,1617	0,0174	0,1359	0,7425
INS	0,0817	0,0384	-0,0451	0,3378	0,1986	0,0148	0,1444	0,7706
ACAM	0,0060	0,0409	-0,0405	0,1521	0,0620	0,0473	0,0763	0,3442
MA	0,0582	0,0404	-0,0065	0,2132	0,1085	0,0137	0,2644	0,6918
COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO								0,7679
EFEITO DA VARIÁVEL RESIDUAL								0,4817

Fonte: Do autor (2017).

PROD: produtividade, sacas/ha; NG: número de grãos por planta NGV: número de grãos por legume; P100: peso de 100 grãos, g; ALT: Altura, cm; INS: altura de inserção do 1º legume, cm); ACAM: acamamento; MA: maturação absoluta, dias.

Tabela 15 - Efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre a produtividade de grãos referente à avaliação de cultivares de soja em Itutinga/MG no ano agrícola 2015/16. Lavras - MG, 2017.

Variável	Efeito sobre PROD							TOTAL
	via NV	via NGV	via P100	via ALT	via INS	via ACAM	via MA	
NV	-0,2143	-0,1665	-0,0812	0,0091	-0,1010	0,0423	0,3166	-0,1950
NGV	0,1103	0,3235	0,0892	-0,0030	0,0563	-0,0581	-0,1764	0,3417
P100	0,0762	0,1263	0,2284	-0,0044	0,0419	-0,0306	-0,0953	0,3426
ALT	-0,0769	-0,0383	-0,0399	0,0252	-0,2231	0,0550	0,2693	-0,0287
INS	-0,0738	-0,0621	-0,0326	0,0192	-0,2934	0,1006	0,2947	-0,0473
ACAM	-0,0565	-0,1172	-0,0435	0,0086	-0,1841	0,1604	0,1648	-0,0675
MA	-0,1361	-0,1145	-0,0437	0,0136	-0,1734	0,0530	0,4985	0,0975
COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO								0,2815
EFEITO DA VARIÁVEL RESIDUAL								0,8477

Fonte: Do autor (2017).

PROD: produtividade, sacas/ha; NG: número de grãos por planta NGV: número de grãos por legume; P100: peso de 100 grãos, g; ALT: Altura, cm; INS: altura de inserção do 1º legume, cm); ACAM: acamamento; MA: maturação absoluta, dias.

Tabela 16 - Efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre a produtividade de grãos referente à avaliação de cultivares de soja em Lavras/MG no ano agrícola 2015/16. Lavras - MG, 2017.

Variável	Efeito sobre PROD							TOTAL
	via NV	via NGV	via P100	via ALT	via INS	via ACAM	via MA	
NV	0,1717	-0,1741	-0,0967	0,0993	0,0672	-0,4426	0,3218	-0,0534
NGV	-0,0872	0,3426	0,0215	-0,0645	-0,1620	0,3729	-0,3345	0,0887
P100	-0,0793	0,0351	0,2092	-0,0242	0,0958	0,1407	-0,0545	0,3228
ALT	0,0851	-0,1104	-0,0253	0,2003	0,3845	-0,6649	0,3728	0,2420
INS	0,0214	-0,1029	0,0372	0,1428	0,5392	-0,5646	0,3846	0,4577
ACAM	0,0880	-0,1481	-0,0341	0,1543	0,3528	-0,8629	0,4028	-0,0471
MA	0,0897	-0,1861	-0,0185	0,1212	0,3367	-0,5643	0,6158	0,3946
COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO								0,6677
EFEITO DA VARIÁVEL RESIDUAL								0,5765

Fonte: Do autor (2017).

PROD: produtividade, sacas/ha; NG: número de grãos por planta NGV: número de grãos por legume; P100: peso de 100 grãos, g; ALT: Altura, cm; INS: altura de inserção do 1º legume, cm); ACAM: acamamento; MA: maturação absoluta, dias.

Tabela 17 - Efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre a produtividade de grãos referente à avaliação de cultivares de soja em Ijaci/MG no ano agrícola 2015/16. Lavras - MG, 2017.

Variável	Efeito sobre PROD							TOTAL
	via NV	via NGV	via P100	via ALT	via INS	via ACAM	via MA	
NV	0,0576	-0,0731	-0,0071	-0,0659	0,0387	-0,1172	0,0474	-0,1196
NGV	-0,0289	0,1460	0,0012	0,0541	-0,1180	0,0720	-0,0626	0,0637
P100	-0,0057	0,0024	0,0709	0,0103	0,0523	0,0640	0,0007	0,1947
ALT	0,0181	-0,0375	-0,0035	-0,2103	0,1618	-0,1723	0,0503	-0,1935
INS	0,0050	-0,0390	0,0084	-0,0770	0,4420	-0,0674	0,0599	0,3319
ACAM	0,0227	-0,0353	-0,0152	-0,1218	0,1001	-0,2976	0,0389	-0,3083
MA	0,0221	-0,0738	0,0004	-0,0854	0,2137	-0,0934	0,1238	0,1073
COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO								0,3086
EFEITO DA VARIÁVEL RESIDUAL								0,8315

Fonte: Do autor (2017).

PROD: produtividade, sacas/ha; NG: número de grãos por planta NGV: número de grãos por legume; P100: peso de 100 grãos, g; ALT: Altura, cm; INS: altura de inserção do 1º legume, cm); ACAM: acamamento; MA: maturação absoluta, dias.

Tabela 18 - Efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre a produtividade de grãos referente à avaliação de cultivares de soja em Lavras/MG, Ijaci/MG e Itutinga/MG no ano agrícola 2014/15. Lavras - MG, 2017.

Variável	Efeito sobre PROD							TOTAL
	via NV	via NGV	via P100	via ALT	via INS	via ACAM	via MA	
NV	-0,3453	0,0424	-0,0817	0,3688	0,0980	-0,0846	0,5007	0,4984
NGV	-0,0595	0,2460	-0,0170	0,1102	0,0387	-0,0819	0,1372	0,3737
P100	0,1603	-0,0238	0,1759	-0,1684	-0,0228	0,0452	-0,1161	0,0503
ALT	-0,2506	0,0534	-0,0583	0,5082	0,1391	-0,1303	0,4651	0,7266
INS	-0,2126	0,0599	-0,0252	0,4440	0,1592	-0,1036	0,4769	0,7986
ACAM	-0,1305	0,0901	-0,0355	0,2960	0,0737	-0,2238	0,3398	0,4099
MA	-0,2562	0,0500	-0,0303	0,3504	0,1125	-0,1127	0,6746	0,7884
COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO								0,8652
EFEITO DA VARIÁVEL RESIDUAL								0,3671

Fonte: Do autor (2017).

PROD: produtividade, sacas/ha; NG: número de grãos por planta NGV: número de grãos por legume; P100: peso de 100 grãos, g; ALT: Altura, cm; INS: altura de inserção do 1º legume, cm); ACAM: acamamento; MA: maturação absoluta, dias.

Tabela 19 - Efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre a produtividade de grãos referente à avaliação de cultivares de soja em Lavras/MG, Ijaci/MG e Itutinga/MG no ano agrícola 2015/16. Lavras - MG, 2017.

Variável	Efeito sobre PROD							TOTAL
	via NV	via NGV	via P100	via ALT	via INS	via ACAM	via MA	
NV	-0,0812	-0,2535	-0,0111	-0,1055	0,1421	-0,2761	0,3924	-0,1929
NGV	0,0518	0,3975	0,0039	0,0626	-0,1461	0,2453	-0,4134	0,2015
P100	0,0341	0,0583	0,0264	0,0408	0,0264	0,1700	-0,0702	0,2857
ALT	-0,0392	-0,1137	-0,0049	-0,2187	0,3413	-0,3936	0,3766	-0,0521
INS	-0,0238	-0,1197	0,0014	-0,1539	0,4851	-0,3844	0,4474	0,2522
ACAM	-0,0389	-0,1690	-0,0078	-0,1492	0,3231	-0,5770	0,3774	-0,2413
MA	-0,0493	-0,2540	-0,0029	-0,1273	0,3355	-0,3366	0,6469	0,2124
COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO								0,5137
EFEITO DA VARIÁVEL RESIDUAL								0,6974

Fonte: Do autor (2017).

PROD: produtividade, sacas/ha; NG: número de grãos por planta NGV: número de grãos por legume; P100: peso de 100 grãos, g; ALT: Altura, cm; INS: altura de inserção do 1º legume, cm); ACAM: acamamento; MA: maturação absoluta, dias.

Tabela 20 - Efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre a produtividade de grãos referente à avaliação de cultivares de soja em Itutinga/MG nos anos agrícolas 2014/15 e 2015/16. Lavras - MG, 2017.

Variável	Efeito sobre PROD							TOTAL
	via NV	via NGV	via P100	via ALT	via INS	via ACAM	via MA	
NV	-0,2068	-0,0518	-0,0457	0,0709	0,0559	-0,0428	0,1218	-0,0985
NGV	0,0788	0,1360	0,0614	-0,0288	-0,0267	0,0184	-0,0939	0,1452
P100	0,0399	0,0353	0,2366	-0,0428	-0,0253	0,0209	-0,0682	0,1966
ALT	-0,0899	-0,0240	-0,0620	0,1632	0,1127	-0,0438	0,1443	0,2004
INS	-0,0840	-0,0264	-0,0434	0,1336	0,1376	-0,0474	0,1700	0,2401
ACAM	-0,1078	-0,0305	-0,0603	0,0869	0,0794	-0,0822	0,1290	0,0145
MA	-0,1141	-0,0579	-0,0731	0,1066	0,1060	-0,0480	0,2208	0,1404
COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO								0,1822
EFEITO DA VARIÁVEL RESIDUAL								0,9043

Fonte: Do autor (2017).

PROD: produtividade, sacas/ha; NG: número de grãos por planta NGV: número de grãos por legume; P100: peso de 100 grãos, g; ALT: Altura, cm; INS: altura de inserção do 1º legume, cm); ACAM: acamamento; MA: maturação absoluta, dias.

Tabela 21 - Efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre a produtividade de grãos referente à avaliação de cultivares de soja em Lavras/MG nos anos agrícolas 2014/15 e 2015/16. Lavras - MG, 2017.

Variável	Efeito sobre PROD							TOTAL
	via NV	via NGV	via P100	via ALT	via INS	via ACAM	via MA	
NV	0,2254	-0,0209	-0,1803	0,0145	0,1544	-0,1769	0,4445	0,4607
NGV	-0,0776	0,0608	0,0502	-0,0040	-0,0547	0,0656	-0,1464	-0,1062
P100	-0,1149	0,0086	0,3536	-0,0040	0,0312	0,0557	-0,0530	0,2772
ALT	0,1622	-0,0122	-0,0699	0,0202	0,2675	-0,2135	0,4220	0,5763
INS	0,1094	-0,0105	0,0347	0,0170	0,3180	-0,2055	0,4372	0,7005
ACAM	0,1517	-0,0152	-0,0748	0,0164	0,2485	-0,2629	0,4134	0,4771
MA	0,1590	-0,0141	-0,0297	0,0135	0,2206	-0,1725	0,6302	0,8070
COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO								0,8130
EFEITO DA VARIÁVEL RESIDUAL								0,4325

Fonte: Do autor (2017).

PROD: produtividade, sacas/ha; NG: número de grãos por planta NGV: número de grãos por legume; P100: peso de 100 grãos, g; ALT: Altura, cm; INS: altura de inserção do 1º legume, cm); ACAM: acamamento; MA: maturação absoluta, dias.

Tabela 22 - Efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre a produtividade de grãos referente à avaliação de cultivares de soja em Ijaci/MG nos anos agrícolas 2014/15 e 2015/16. Lavras - MG, 2017.

Variável	Efeito sobre PROD							TOTAL
	via NV	via NGV	via P100	via ALT	via INS	via ACAM	via MA	
NV	0,1762	-0,0437	-0,0326	0,0585	0,2281	-0,1789	0,2000	0,4075
NGV	-0,0501	0,1536	-0,0299	-0,0048	-0,1015	0,0023	-0,1013	-0,1316
P100	-0,0600	-0,0480	0,0957	-0,0362	-0,0340	0,1184	-0,0374	-0,0015
ALT	0,1135	-0,0082	-0,0382	0,0907	0,3039	-0,2223	0,2124	0,4519
INS	0,0899	-0,0348	-0,0073	0,0617	0,4472	-0,1709	0,2829	0,6686
ACAM	0,0937	-0,0011	-0,0337	0,0600	0,2272	-0,3364	0,2245	0,2342
MA	0,0862	-0,0380	-0,0088	0,0471	0,3095	-0,1847	0,4087	0,6200
COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO								0,5660
EFEITO DA VARIÁVEL RESIDUAL								0,6588

Fonte: Do autor (2017).

PROD: produtividade, sacas/ha; NG: número de grãos por planta NGV: número de grãos por legume; P100: peso de 100 grãos, g; ALT: Altura, cm; INS: altura de inserção do 1º legume, cm); ACAM: acamamento; MA: maturação absoluta, dias.

Tabela 23 - Efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre a produtividade de grãos referente à avaliação de cultivares de soja em Lavras/MG, Ijaci/MG e Itutinga/MG nos anos agrícolas 2014/15 e 2015/16. Lavras - MG, 2017.

Variável	Efeito sobre PROD							TOTAL
	via NV	via NGV	via P100	via ALT	via INS	via ACAM	via MA	
NV	-0,0520	-0,1305	-0,0744	0,0713	0,2318	-0,3298	0,6509	0,3674
NGV	0,0226	0,3002	0,0051	-0,0198	-0,0863	0,1024	-0,3407	-0,0165
P100	0,0280	0,0111	0,1383	-0,0327	-0,0247	0,1553	-0,1533	0,1220
ALT	-0,0378	-0,0605	-0,0459	0,0983	0,3083	-0,3429	0,5719	0,4914
INS	-0,0317	-0,0682	-0,0090	0,0798	0,3798	-0,3227	0,6532	0,6813
ACAM	-0,0379	-0,0680	-0,0475	0,0745	0,2709	-0,4523	0,6107	0,3505
MA	-0,0398	-0,1202	-0,0249	0,0661	0,2916	-0,3247	0,8509	0,6990
COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO								0,7361
EFEITO DA VARIÁVEL RESIDUAL								0,5137

Fonte: Do autor (2017).

PROD: produtividade, sacas/ha; NG: número de grãos por planta NGV: número de grãos por legume; P100: peso de 100 grãos, g; ALT: Altura, cm; INS: altura de inserção do 1º legume, cm); ACAM: acamamento; MA: maturação absoluta, dias.