

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CAMPUS ITAQUI
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**MEDIDAS DE ASSOCIAÇÃO DE VARIÁVEIS COM
MASSA DE GRÃOS PARA CULTIVARES DE SOJA
EM TERRAS BAIXAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Francieli de Lima Tartaglia

**Itaqui, RS, Brasil
2017**

FRANCIELI DE LIMA TARTAGLIA

**MEDIDAS DE ASSOCIAÇÃO DE VARIÁVEIS COM MASSA DE
GRÃOS PARA CULTIVARES DE SOJA EM TERRAS BAIXAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheira Agrônoma.**

Orientador: Marcos Toebe

Itaqui, RS, Brasil
2017

T176m Tartaglia, Francieli de Lima

Medidas de associação de variáveis com massa de
grãos para cultivares de soja em terras baixas /
Francieli de Lima Tartaglia.

28 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)--
Universidade Federal do Pampa, AGRONOMIA, 2017.

"Orientação: Marcos Toebe".

1. Glycine max. 2. Análise de trilha. 3.
Multicolinearidade. 4. Correlações. I. Título.

FRANCIELI DE LIMA TARTAGLIA

**MEDIDAS DE ASSOCIAÇÃO DE VARIÁVEIS COM MASSA DE
GRÃOS PARA CULTIVARES DE SOJA EM TERRAS BAIXAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheira Agrônoma**.

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em: 13 de junho de 2017.

Banca examinadora:



Prof. Dr. Marcos Toebe

Orientador

Curso de Agronomia - UNIPAMPA



Prof. Dr. Aníauri Nelson Beutler

Curso de Agronomia - UNIPAMPA



Prof. Dr. Cleber Maus Alberto

Curso de Agronomia - UNIPAMPA

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus amados pais, Osmar Tartaglia e Maria das Graças de Lima Tartaglia, maiores incentivadores e fontes inesgotáveis de apoio, amor e compreensão, e aos meus irmãos Francilene de Lima Tartaglia, Francismar de Lima Tartaglia e Vanderley de Lima Tartaglia.

Dedico a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste curso.

AGRADECIMENTO

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, sendo em todos os momentos o maior mestre que alguém pode ter.

A minha família pelo amor, incentivo, apoio incondicional e pelos esforços realizados para que eu chegasse até essa etapa de minha vida.

Ao meu namorado Matheus Martins Ferreira, por todo amor, carinho, paciência e compreensão que tem me dedicado.

Ao Prof. Dr. Marcos Toebe pela orientação, pelo apoio para que eu realizasse o curso de graduação e pela orientação no trabalho de conclusão de curso.

Aos demais professores, minha gratidão a todos que estão contribuindo na minha formação profissional.

A Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, pela oportunidade de realização deste curso.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa em Estatística e Experimentação Agronômica – GPEEA, que de alguma maneira contribuíram para esta realização.

A todos os colegas de curso pelo convívio e pelos momentos de amizade.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

A UNIPAMPA e FAPERGS pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

RESUMO

MEDIDAS DE ASSOCIAÇÃO DE VARIÁVEIS COM MASSA DE GRÃOS PARA CULTIVARES DE SOJA EM TERRAS BAIXAS

Autor: Francieli de Lima Tartaglia

Orientador: Marcos Toebe

Local e data: Itaqui, 13 de Junho de 2017

O objetivo desse trabalho foi estudar as medidas de associação linear existentes entre caracteres de soja cultivada em terras baixas, com base em correlações genotípicas e fenotípicas e na análise de trilha em diferentes cenários de variáveis explicativas. O experimento foi conduzido à campo na Universidade Federal do Pampa, Campus Itaqui-RS (29° 09' 21" S e 56° 33' 02" W e 74 m de altitude), safra 2014/2015. Os oito tratamentos foram dispostos no delineamento de blocos ao acaso, com três repetições, em parcelas de 11 m², sendo cada tratamento representado por uma das seguintes cultivares: DM6563; DM7166; BMX POTÊNCIA; DON MARIO 7.0i; BMX ATIVA; DM6160; DM5958 e DM6458. Foram avaliadas 100 plantas de cada parcela e, em cada planta foram mensurados os seguintes caracteres: altura de planta (AP), altura de inserção da primeira vagem (AIPV), número de ramos (NR), número de nós (NN), número de vagens (NV), número de grãos (NG), número de grãos por vagem (NGV), massa da planta na colheita (MP), massa de vagens (MV), massa de cem grãos (MCG) e massa de grãos por planta (MG). Para cada variável foi realizada a análise de variância no delineamento de blocos ao acaso para a verificação do efeito de cultivar e a posterior comparação de médias, sendo calculada também a precisão experimental, a herdabilidade e a acurácia seletiva. Foram calculados os coeficientes de correlação genotípicos e fenotípicos entre as variáveis e realizados a análise de trilha em crista e trilha tradicional. De acordo tanto com a matriz de correlação genotípica quanto na fenotípica, as variáveis MV, MP, NG e NN apresentaram as maiores correlações com a massa de grãos. Independentemente da matriz de correlação utilizada na análise de trilha em crista (genotípica ou fenotípica), MV, MP e MCG são as variáveis com maiores relações de causa e efeito sobre a MG e podem ser utilizadas para a seleção indireta de plantas mais produtivas. Já na análise de trilha tradicional a seleção indireta poderá ser realizada com base na massa da planta.

Palavras-chave: *Glycine max*; análise de trilha; multicolinearidade; correlações.

ABSTRACT

ASSOCIATION MEASURES OF VARIABLES WITH GRAIN MASS FOR SOYBEAN CULTIVARS IN LOWLAND

Author: Francieli de Lima Tartaglia

Advisor: Marcos Toebe

Data: Itaquí, June 13, 2017.

The objective of this work was to study the linear association measures between characters of soybeans cultivated in lowland, based on genotypic and phenotypic correlations and path analysis in different scenarios of explanatory variables. The experiment was conducted at the Federal University of Pampa, Campus Itaquí-RS (29° 09' 21" S and 56° 33' 02" W and 74 m altitude), in the 2014/2015 harvest. The eight treatments were arranged in a randomized complete block design, with three replications, in plots of 11 m², each treatment represented by one of the following cultivars: DM6563; DM7166; BMX POWER; DON MARIO 7.0i; BMX ACTIVE; DM6160; DM5958 and DM6458. We evaluated 100 plants of each plot and, in each plant were measured the following characters: plant height (AP), height of insertion of the first pod (AIPV), number of branches (NR), number of nodes (NN), number of pods (NV), number of grains (NG), number of grains per pod (NGV), plant mass at harvest (MP), pod mass (MV), mass of one hundred grains (MCG) and grain mass per plant (MG). For each variable, the analysis of variance was performed in the randomized block design to verify the effect of cultivar and the subsequent comparison of means, being also calculated the experimental precision, heritability and selective accuracy. The genotypic and phenotypic correlation coefficients between the variables were calculated and the analysis of ridge and traditional path analysis was performed. According to both the genotypic and phenotypic correlation matrix, the variables MV, MP, NG and NN presented the highest correlations with grain mass. Regardless of the correlation matrix used in ridge path analysis (genotype or phenotype), MV, MP and MCG are the variables with the greatest cause and effect relationships on MG and can be used for the indirect selection of more productive plants. In the traditional path analysis, the indirect selection can be performed based on the plant mass.

Keywords: *Glycine max*; path analysis; multicollinearity; correlations.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo da análise de variância [número de graus de liberdade (GL) e quadrado médio para as fontes de variação bloco, cultivar e erro], média, coeficiente de variação experimental (CV, em %), valor da estatística Fcalculado para cultivares (Fc), herdabilidade (H, em %), acurácia seletiva (AS) e precisão experimental para oito cultivares de soja cultivadas em terras baixas de Itaqui - Rio Grande do Sul na safra 2014/2015.....	15
Tabela 2 – Médias para variáveis avaliadas em oito cultivares de soja cultivadas em terras baixas de Itaqui - Rio Grande do Sul na safra 2014/2015.....	16
Tabela 3 – Matriz de correlação genotípica (na diagonal superior) e fenotípica (diagonal inferior) entre onze variáveis avaliadas em oito cultivares de soja cultivadas em terras baixas de Itaqui - Rio Grande do Sul na safra 2014/2015.....	18
Tabela 4 – Estimativas dos efeitos diretos e indiretos para análises de trilha em crista geradas com base nas matrizes de correlação genotípica e fenotípica em oito cultivares de soja cultivadas em terras baixas de Itaqui - Rio Grande do Sul na safra 2014/2015.....	20
Tabela 5 – Estimativas dos efeitos diretos e indiretos da análise de trilha realizada após a exclusão de variáveis explicativas altamente correlacionadas, tanto em matrizes de correlação genotípica quanto fenotípica, com base em variáveis avaliadas em oito cultivares de soja cultivadas em terras baixas de Itaqui - Rio Grande do Sul na safra 2014/2015.....	22

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
4 CONCLUSÕES	23
5 REFERÊNCIAS	24
ANEXOS.....	28

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma cultura anual, pertencente à família Fabaceae. A planta é originária do continente Asiático, mais precisamente na região da China Antiga (CÂMARA, 2015). Atualmente é a principal oleaginosa produtora de óleo vegetal no mundo, sendo que no Brasil os complexos de soja (grão, farelo e óleo) possuem grande importância nas cadeias agroindustriais, na alimentação humana e animal (SOUSA et al., 2010). Nos últimos anos o país vem se destacando na produção do grão, tornando-se o segundo maior produtor e o maior exportador mundial, alcançando na safra 2016/2017 a produção de 107.614,6 mil toneladas (CONAB, 2017). O aumento da produção ocorre em função da elevada demanda pelo grão, que implica no lançamento de novas cultivares altamente produtivas, expansão de novas áreas e uso de tecnologias adequadas (EMBRAPA, 2008).

Com a expansão das áreas de cultivo e a introdução de novas cultivares convencionais e, principalmente transgênicas, vários estudos vêm sendo realizados, inclusive na área de melhoramento com o objetivo de avaliar a produtividade e a adaptação da cultura em regiões marginais de cultivo. Nesse sentido, o estudo dos caracteres da cultura é importante em programas de melhoramento para a seleção de genitores superiores e obtenção de novas linhagens (VAL et al., 2014). Devido à complexidade das características mais importante na seleção de indivíduos, se torna necessário o uso de seleção mais precisa baseada nas correlações que podem existir entre os caracteres de interesse (LEITE et al., 2015). Assim, com a análise de correlações é possível determinar o grau de associação entre duas ou mais variáveis (SILVA et al., 2016), permitindo a seleção indireta de caracteres quantitativos (CARPENTIERE-PÍPOLO; GASTALDI; PÍPOLO, 2005). As correlações entre dois caracteres podem ser quantificadas de forma genotípica, fenotípica ou ambiental. A correlação fenotípica é resultado de causas genéticas e ambientais, os quais são mensurados a campo, já a genotípica é a porção genética da correlação fenotípica (SILVA et al., 2007; SOUZA; MELO; MELO, 2017), sendo que apenas as correlações genotípicas possuem uma associação de natureza herdável e de maior interesse para o melhoramento (BÁRBARO et al., 2006).

Em soja, vários estudos têm sido realizados sobre correlações fenotípicas, genotípicas e ambientais envolvendo vários caracteres de interesse desde os estádios iniciais até estádios finais da planta (LEITE et al., 2015; PERINI et al., 2012; SILVA et al., 2015; SILVA et al., 2016). Quando um conjunto de variáveis (caracteres) são estudados simultaneamente, as correlações podem não ser suficientes para esclarecer as verdadeiras relações de causa e efeito

entre as variáveis estudadas (OLIVEIRA et al., 2010). Nesse caso, a análise de trilha tem sido indicada, por permitir o desdobramento dos coeficientes de correlação em efeitos diretos e indiretos sobre a variável principal (CRUZ; CARNEIRO, 2006; CRUZ; REGAZZI, 1997; WRIGHT, 1921, 1923, 1934). Variáveis com alta associação medida por meio do coeficiente de correlação e, com efeitos diretos de mesma intensidade e direção, são consideradas variáveis de causa e efeito, sendo indicadas para a seleção indireta de plantas (CRUZ; CARNEIRO, 2006; CRUZ; REGAZZI, 1997; PACHECO; CANTALICE, 2011). Dessa forma, a análise de trilha pode complementar os estudos via correlações e proporcionar análise mais detalhada dos fatores resultantes em uma correlação, podendo ser utilizada com mais precisão no momento da seleção indireta ou simultânea (HARTWING et al., 2007).

Embora já existam diversos estudos de análise de trilha em soja (AKRAM et al., 2011; BÁRBARO et al., 2006; JAIN et al., 2015; MACHIKOWA; LAOSUWAN, 2011; ALCANTARA NETO et al., 2011; NOGUEIRA et al., 2012; RIGON et al., 2012; TEODORO et al., 2015), não foram verificados estudos na cultura de soja cultivada em várzea. Nesse sentido, os padrões de associação entre variáveis podem ser distintos na condição de cultivo de soja em terras baixas. Além disso, os efeitos diretos e indiretos de análise de trilha podem assumir distintos escores de acordo com o conjunto de variáveis explicativas que são utilizadas (TOEBE et al., 2017) e em relação ao tipo de análise de trilha realizado em caso de multicolinearidade.

O objetivo desse trabalho foi estudar as medidas de associação linear existentes entre caracteres de soja cultivada em terras baixas, com base em correlações genotípicas e fenotípicas e na análise de trilha em diferentes cenários de variáveis explicativas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido à campo na Universidade Federal do Pampa, Campus Itaqui-RS (29° 09' 21" S e 56° 33' 02" W e 74 m de altitude), safra 2014/2015 em um Plintossolo Háptico (EMBRAPA, 2013). Segundo a classificação climática de Köppen, o clima local é do tipo Cfa, subtropical úmido sem estação seca definida e com verões quentes (WREGE et al., 2011). Os oito tratamentos foram dispostos no delineamento de blocos ao acaso, com três repetições, em parcelas de 11 m², sendo cada tratamento representado por uma das seguintes cultivares: DM6563; DM7166; BMX POTÊNCIA; DON MARIO 7.0i; BMX ATIVA; DM6160; DM5958 e DM6458.

A semeadura foi realizada manualmente no dia 20 de novembro de 2014, com espaçamento de 0,45 m entre fileiras e nove sementes por metro linear, resultando em densidade de semeadura de 200.000 plantas ha^{-1} . Para adubação de base foram utilizados 25 kg ha^{-1} de N, 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 100 kg ha^{-1} de K_2O , conforme recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS, 2004). Os demais tratos culturais foram realizados uniformemente em toda área experimental de acordo com a necessidade da cultura.

A colheita foi realizada em abril de 2015, sendo avaliadas 100 plantas de cada cultivar em cada repetição, da região central da parcela, totalizando 2.400 plantas avaliadas. Em cada planta foram mensurados os seguintes caracteres: altura de planta (AP, cm), a partir da superfície do solo até extremidade da haste principal; altura da inserção da primeira vagem (AIPV, cm), a partir da superfície do solo até a primeira vagem; número de ramos com inserção na haste principal (NR, unidades); número de nós na haste principal (NN, unidades); número de vagens (NV, unidades); número de grãos (NG, unidades); número de grãos por vagem ($\text{NGV} = \text{NG}/\text{NV}$, unidades); massa da planta na colheita (MP, gramas); massa de vagens na colheita (MV gramas); massa de cem grãos (MCG, gramas); massa de grãos por planta (MG, gramas – variável principal).

Para cada variável foi realizada a análise de variância no delineamento de blocos ao acaso para a verificação do efeito de cultivar, sendo calculada também a precisão experimental, a herdabilidade e a acurácia seletiva conforme critérios estabelecidos por Resende e Duarte (2007). A seguir, as médias das cultivares foram comparadas entre si por meio do teste de Scott-Knott. Em todas as análises foi estabelecido 5% de probabilidade de erro. Com base nos valores médios de cada parcela (média das 100 plantas) foram calculados os coeficientes de correlação genotípicos e fenotípicos entre as 11 variáveis, conforme descrito por Cruz (2005), gerando em cada caso uma matriz de correlação entre as dez variáveis explicativas (matriz de correlação $X'X$) e um vetor correspondendo a correlação de cada variável explicativa com a variável principal MG (matriz de correlação $X'Y$).

Em cada matriz de correlação (genotípica e fenotípica) entre as dez variáveis explicativas (matriz de correlação $X'X$) procedeu-se o diagnóstico de multicolinearidade por meio do fator de inflação de variância (FIV) e do número de condição (NC). Considerou-se multicolinearidade fraca quando $\text{NC} < 100$, multicolinearidade moderada a severa quando $100 \leq \text{NC} \leq 1.000$ e, multicolinearidade severa quando $\text{NC} > 1.000$ e quando $\text{FIV} > 10$ (MONTGOMERY; PECK, 1982; CARVALHO; CRUZ, 1996; FÁVERO et al., 2009; HAIR et al., 2009). Em caso de multicolinearidade severa, foi escolhido um valor k a ser adicionado

na diagonal da matriz de correlação $X'X$, sendo escolhido o menor valor de k no intervalo de $0 \leq k \leq 1$ suficiente para reduzir o NC para valor inferior a 100, contribuindo para a estabilização dos efeitos diretos e indiretos da análise de trilha (CRUZ; CARNEIRO, 2006). O valor escolhido de k foi adicionado na diagonal da matriz de correlação $X'X$ e foi realizada a estimação de efeitos diretos e indiretos da análise de trilha em crista por meio do sistema $(X'X+k)\hat{\beta}=X'Y$ (CRUZ; CARNEIRO, 2006). Também foi calculado o coeficiente de determinação da análise de trilha em crista (R^2) e apresentado o valor k e o número de condição obtido após a adição do valor k .

A seguir, procedeu-se a análise de trilha convencional sem adição do valor k na diagonal da matriz de correlação entre variáveis explicativas (matriz $X'X$). Nesse caso, inicialmente foram excluídas variáveis explicativas com maior fator de inflação da variância (FIV) (CARVALHO; CRUZ, 1996; FÁVERO et al., 2009; HAIR et al., 2009) e de difícil mensuração. Após a exclusão de cada variável, procedeu-se o diagnóstico de multicolinearidade e foram excluídas variáveis até que o NC assumiu valor inferior a 100. Com base nas variáveis que permaneceram procedeu-se a análise de trilha tradicional utilizando o sistema de equações normais $X'X\hat{\beta}=X'Y$ (CRUZ; CARNEIRO, 2006; CRUZ; REGAZZI, 1997; WRIGHT, 1921, 1923, 1934), sendo calculado o coeficiente de determinação da análise de trilha tradicional (R^2). As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software Genes (CRUZ, 2013) e do aplicativo Microsoft Office Excel.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Constataram-se diferenças significativas entre as oito cultivares de soja para todas as variáveis avaliadas ($p \leq 0,05$), indicando a existência de variabilidade genética entre as cultivares (Tabela 1). O coeficiente de variação oscilou entre 2,22% e 11,20%, indicando boa precisão experimental. Ainda em relação à precisão experimental, constataram-se elevados valores de herdabilidade, acurácia seletiva e estatística $F_{calculado}$, indicando precisão experimental muito alta para todas as variáveis analisadas. Segundo Resende e Duarte (2007) a acurácia seletiva acima de 0,90 e o valor de $F_{calculado}$ superior a 5,26 são desejados, pois proporcionam elevada precisão experimental. Todas as variáveis apresentaram elevada herdabilidade variando de 84,70 a 97,20% indicando alta precisão na seleção de populações. De acordo com Storck e Ribeiro (2011) valores elevados de herdabilidade média garantem a seleção eficiente de genótipos superiores.

Tabela 1 – Resumo da análise de variância [número de graus de liberdade (GL) e quadrado médio para as fontes de variação bloco, cultivar e erro], média, coeficiente de variação experimental (CV, em %), valor da estatística F calculado para cultivares (Fc), herdabilidade (H, em %), acurácia seletiva (AS) e precisão experimental para oito cultivares de soja cultivadas em terras baixas de Itaqui - Rio Grande do Sul na safra 2014/2015.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Variáveis ⁽¹⁾					
		AP	AIPV	NR	NN	NV	NG
Bloco	2	225,21	14,75	1,08	6,12	1253,63	4370,89
Cultivar	7	517,37*	42,83*	2,92*	17,84*	373,08*	2276,40*
Erro	14	34,10	2,91	0,15	0,92	57,07	211,60
Média		67,93	15,24	5,12	20,05	82,97	156,46
CV(%)		8,60	11,20	7,61	4,79	9,11	9,30
Fc		15,17	14,71	19,20	19,36	6,54	10,76
H(%)		93,41	93,20	94,79	94,83	84,70	90,70
AS		0,97	0,97	0,97	0,97	0,92	0,95
Precisão ⁽²⁾		MA	MA	MA	MA	MA	MA
Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Variáveis ⁽¹⁾					
		NGV	MP	MV	MCG	MG	
Bloco	2	0,004	431,88	158,52	1,13	105,12	
Cultivar	7	0,394*	139,67*	83,41*	10,95*	48,83*	
Erro	14	0,025	18,78	10,53	0,31	5,37	
Média		1,89	44,00	32,62	14,70	23,01	
CV(%)		2,22	9,85	9,95	3,77	10,07	
Fc		31,94	7,44	7,92	35,75	9,10	
H(%)		96,87	86,55	87,38	97,20	89,01	
AS		0,98	0,93	0,93	0,99	0,94	
Precisão ⁽²⁾		MA	MA	MA	MA	MA	

⁽¹⁾ AP: Altura de planta, em cm; AIPV: Altura de inserção da primeira vagem, em cm; NR: Número de ramos, em un.; NN: Número de nós, em un.; NV: Número de vagens, em un.; NG: Número de grãos, em un.; NGV: Número de grãos por vagem, em un.; MP: Massa da planta na colheita, em g; MV: Massa de vagens na colheita, em g; MCG: Massa de cem grãos, em g; MG: Massa de grãos por planta, em g. *Efeito significativo pelo teste F a 5% de probabilidade. ⁽²⁾ Limites de classes estabelecidos por Resende e Duarte (2007), sendo MA: muito alta (AS \geq 0,90).

A cultivar DM 7166 RSF IPRO obteve os maiores valores para as variáveis AP, AIPV, NR, NN, NV, NG, NGV, MP, MV e para a variável principal MG, sendo, portanto, a cultivar mais produtiva por planta, embora tenha sido a cultivar com menor densidade populacional na colheita (Tabela 2). Dentre as cultivares analisadas a AP variou de 40,71 a 83,75 cm para as cultivares BMX ATIVA RR e BMX POTÊNCIA RR, respectivamente. A altura da planta é uma característica genética e pode variar com as condições edafoclimáticas e práticas culturais (TORRES et al., 2015). De acordo com Rezende e Carvalho (2007) para a planta estar adequada a mecanização

agrícola deve apresentar uma altura entre 60 a 120 cm, sendo que plantas abaixo de 50 cm apresentam a formação de vagem mais próximas ao solo, ficando abaixo do ponto de corte no momento da colheita (SILVEIRA; CONTE, 2013). Os dados referentes a AIPV variaram de 7,95 cm a 19,14 cm, para as cultivares BMX ATIVA RR e DM 6458 RSF IPRO, respectivamente. Segundo Almeida, Peluzio e Afférri (2011) a altura de inserção de primeira vagem deve ser superior a 10 cm para evitar perdas no momento da colheita, sendo que apenas a cultivar BMX ATIVA RR não atingiu esse valor.

Tabela 2 – Médias para variáveis avaliadas em oito cultivares de soja cultivadas em terras baixas de Itaquí - Rio Grande do Sul na safra 2014/2015.

Cultivar	População na colheita (plantas ha ⁻¹)	Variáveis ⁽¹⁾				
		AP (cm)	AIPV (cm)	NR (un.)	NN (un.)	NV (un.)
DM 7166 RSF IPRO	133.336	74,64 a	19,14 a	6,93 a	21,51 a	103,88 a
DM 6563 RSF IPRO	167.510	73,32 a	16,44 b	4,60 c	20,78 a	92,73 a
DM 6458 RSF IPRO	151.276	75,44 a	19,41 a	5,23 c	22,07 a	73,97 b
DM 6160 RSF IPRO	156.568	59,32 b	12,73 c	4,77 c	19,44 a	78,51 b
DM 5958 RSF IPRO	176.487	70,51 a	16,11 b	4,65 c	20,70 a	84,39 b
BMX ATIVA RR	150.514	40,71 c	7,95 d	3,65 d	14,32 b	71,25 b
DON MARIO 7.0i	162.517	65,72 a	13,38 c	5,99 b	20,55 a	85,56 b
BMX POTÊNCIA RR	188.417	83,75 a	16,70 b	5,13 c	21,04 a	73,42 b

Cultivar	Variáveis ⁽¹⁾					
	NG (un.)	NGV (un.)	MP (g)	MV (g)	MCG (g)	MG (g)
DM 7166 RSF IPRO	217,37 a	2,09 a	58,08 a	43,45 a	14,17 b	31,33 a
DM 6563 RSF IPRO	162,88 b	1,76 c	46,32 b	34,80 b	14,75 b	24,20 b
DM 6458 RSF IPRO	137,56 b	1,87 b	45,32 b	32,67 b	17,16 a	23,82 b
DM 6160 RSF IPRO	150,75 b	1,92 b	45,21 b	34,14 b	15,56 b	23,63 b
DM 5958 RSF IPRO	152,17 b	1,81 c	42,22 b	32,31 b	15,01 b	22,93 b
BMX ATIVA RR	122,86 b	1,72 c	35,31 b	28,82 c	16,79 a	20,77 c
DON MARIO 7.0i	156,46 b	1,84 b	38,33 b	27,13 c	12,05 c	18,77 c
BMX POTÊNCIA RR	151,62 b	2,08 a	41,14 b	27,57 c	12,05 c	18,63 c

⁽¹⁾ AP: Altura de planta; AIPV: Altura da inserção da primeira vagem; NR: Número de ramos; NN: Número de nós; NV: Número de vagens; NG: Número de grãos; NGV: Número de grãos por vagem.; MP: Massa da planta na colheita; MV: Massa de vagens na colheita; MCG: Massa de cem grãos; MG: Massa de grãos por planta *Médias de cultivares não seguidas pela mesma letra diferem pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

A cultivar DM 7166 RSF IPRO apresentou maior número de ramos, diferindo das demais cultivares avaliadas (Tabela 2). O número de ramos pode variar com a cultivar utilizada, as condições

de solo, umidade, radiação solar entre outros fatores. (MUNDSTOCK; THOMAS 2005). Segundo Szareski et al. (2015) plantas que apresentam mais ramos, tem tendência de serem mais produtivas, pois proporcionam um aumento na quantidade de folhas e maior disponibilidade de fotoassimilados, favorecendo ainda o surgimento de estruturas florais. Em relação ao número de nós, somente a cultivar BMX ATIVA RR teve valor inferior estatisticamente em relação às demais cultivares. De acordo com Mundstock e Thomas (2005) em cada nó da planta pode ocorrer tanto o desenvolvimento de estrutura vegetativa quanto uma estrutura reprodutiva, mostrando uma grande maleabilidade morfológica da cultura. As cultivares que apresentaram os maiores valores para NV foram DM 7166 RSF IPRO e DM 6563 RSF IPRO, apresentando valores médios de 103,88 e 92,73, respectivamente, diferindo das demais cultivares que por sua vez não apresentaram diferenças significativas entre si. O número de vagens é um componente que apresenta grande variação, sendo ainda dependente do número de flores produzidas e fixadas pela cultura, e um dos componentes mais importantes quando se busca maior produtividade de grãos (MUNDSTOCK; THOMAS 2005).

Para NG a cultivar que apresentou a maior produção foi a DM 7166 RSF IPRO (217,37 grãos), enquanto as outras não apresentaram diferenças significativas entre si (Tabela 2). Os maiores escores de NGV foram obtidos com as cultivares DM 7166 RSF IPRO e BMX POTÊNCIA RR, apresentando valores médios de 2,09 e 2,08 grãos por vagem, respectivamente, e os menores valores foram obtidos nas cultivares DM 6563 RSF IPRO (1,76), DM 5958 RSF IPRO (1,81) e BMX ATIVA RR (1,72). O número de grãos por vagem sofre pouca influencia do ambiente, pois é uma característica genética (MUNDSTOCK; THOMAS 2005) e de acordo com Szareski et al. (2015) o maior número de grão por vagem pode proporcionar um aumento no rendimento de grãos por planta. A cultivar que apresentou a maior MP foi a DM 7166 RSF IPRO diferindo estatisticamente das demais. Em relação a MV a cultivar DM 7166 RSF IPRO também apresentou o maior valor quando comparada com as demais cultivares, enquanto que os menores valores foram observados nas cultivares BMX ATIVA RR, DON MARIO 7.0i e BMX POTÊNCIA RR.

Para MCG os maiores valores foram obtidos nas cultivares DM 6458 RSF IPRO e BMX ATIVA RR, apresentando valores médios de 17,16 e 16,79 g, respectivamente, e os menores valores nas cultivares DON MARIO e BMX POTÊNCIA com MCG de 12,05 g (Tabela 2). De acordo com Torres, Silva e Teodoro (2014) a massa de cem grãos é importante para estimar a produtividade de grãos e verificar a adaptação do genótipo ao ambiente. Para a variável principal MG o maior valor foi obtido pela cultivar DM 7166 RSF IPRO (31,33 g planta⁻¹) e os menores valores pelas cultivares BMX ATIVA RR (20,77 g), DON MARIO 7.0i (18,77 g) e BMX POTÊNCIA RR (18,63 g).

Na matriz de correlação genotípica observa-se que a magnitude dos coeficientes de correlação entre caracteres variou de -0,526 a 0,992 (Tabela 3 – diagonal superior). Constatou-se ainda correlação genotípica positiva entre todas as variáveis avaliadas com a massa de grãos. As correlações genotípicas de maiores magnitudes com a variável principal massa de grãos foram observadas com a massa de vagem (0,992), a massa de planta (0,922), o número de grão (0,747) e o número de vagens (0,726). Esses resultados indicam que existe associação positiva entre esses caracteres e, dessa forma, é provável que a seleção com base na massa de vagem, na massa da planta, no número de grão e/ou no número de vagem resulte na seleção de plantas mais produtivas.

Tabela 3 – Matriz de correlação genotípica (na diagonal superior) e fenotípica (diagonal inferior) entre onze variáveis avaliadas em oito cultivares de soja cultivadas em terras baixas de Itaqui - Rio Grande do Sul na safra 2014/2015.

	Variáveis ⁽¹⁾										
	AP	AIPV	NR	NN	NV	NG	NGV	MP	MV	MCG	MG
AP	-	0,910	0,605	0,921	0,314	0,479	0,659	0,507	0,222	-0,503	0,167
AIPV	0,903	-	0,693	0,930	0,500	0,621	0,604	0,776	0,569	-0,169	0,550
NR	0,555	0,633	-	0,707	0,705	0,862	0,718	0,723	0,527	-0,526	0,505
NN	0,921	0,921	0,669	-	0,438	0,534	0,547	0,600	0,347	-0,386	0,303
NV	0,321	0,457	0,676	0,432	-	0,912	0,276	0,763	0,765	-0,317	0,726
NG	0,465	0,570	0,831	0,518	0,914	-	0,641	0,881	0,794	-0,418	0,747
NGV	0,621	0,556	0,688	0,523	0,258	0,620	-	0,622	0,377	-0,495	0,324
MP	0,487	0,712	0,693	0,576	0,773	0,877	0,589	-	0,948	-0,022	0,922
MV	0,220	0,513	0,518	0,338	0,774	0,804	0,372	0,948	-	0,209	0,992
MCG	-0,480	-0,154	-0,497	-0,368	-0,282	-0,385	-0,477	0,010	0,223	-	0,294
MG	0,172	0,501	0,499	0,299	0,739	0,762	0,324	0,924	0,992	0,303	-

⁽¹⁾ AP: Altura de planta; AIPV: Altura de inserção da primeira vagem; NR: Número de ramos; NN: Número de nós; NV: Número de vagens; NG: Número de grãos; NGV: Número de grãos por vagem; MP: Massa da planta na colheita; MV: Massa de vagens na colheita; MCG: Massa de cem grãos; MG: Massa de grãos por planta.

Em relação à matriz de correlação fenotípica foram observados coeficientes de correlação entre -0,497 e 0,992 (Tabela 3 – diagonal inferior). Constatou-se também correlação fenotípica positiva entre todas as variáveis analisadas com a massa de grãos, sendo que as correlações fenotípicas de maiores magnitudes foram encontradas entre massa de vagem (0,992), massa de planta (0,924), número de grãos (0,762) e número de vagens (0,739)

com a massa de grãos. Perini et al. (2012) também encontraram alta correlação fenotípica (0,991) entre massa de grãos por planta e número de grãos.

Como observado, tanto na matriz de correlação genotípica quanto na fenotípica, as variáveis MV, MP, NG e NV, nessa ordem, apresentaram as maiores correlações com a massa de grãos (Tabela 3). A análise de trilha, por meio do desdobramento dos coeficientes em efeitos diretos e indiretos, poderá indicar se essas variáveis de fato apresentam relação de causa e efeito sobre a massa de grãos por planta. Foram ainda verificadas correlações negativas tanto na matriz de correlação genotípica, quanto na matriz fenotípica, quando foram correlacionadas as variáveis AP, AIPV, NR, NN, NV, NG, NGV e MP com a variável MCG, indicando que o aumento nessas variáveis proporciona diminuição na massa de cem grãos.

A adição da constante $k = 0,10$ nas matrizes de correlação genotípica e fenotípica foi suficiente para minimizar o efeito da multicolinearidade entre as dez variáveis explicativas, apresentando $FIV < 10$ para todas as variáveis bem como $NC < 100$ (Tabela 4). A predição das análises de trilha em crista genotípica ($R^2 = 0,965$) e fenotípica ($R^2 = 0,961$) foi elevada, indicando boa capacidade de previsão da massa de grãos em função do desdobramento dos coeficientes de correlação genotípicos e/ou fenotípicos.

A massa de vagens foi a variável que apresentou maiores escores de correlação positiva com a massa de grãos (Tabela 3) e tanto na análise de trilha em crista genotípica quanto na fenotípica apresentou maior efeito direto positivo (genotípica = 0,334 e fenotípica = 0,346) sobre MG, indicando relação de causa e efeito e a viabilidade de seleção indireta (Tabela 4). Resultados diferentes foram verificados por Nogueira (2011) e Alcantara Neto et al. (2011), onde os maiores efeitos diretos sobre produção de grãos por planta foram observados para número de vagens por planta. A MV também apresentou efeito indireto sobre a MG via MP. A MP também apresentou elevada correlação genotípica (0,922) e fenotípica (0,924) com MG, apresentando efeito direto positivo tanto na análise genotípica (0,285) quanto na fenotípica (0,245).

Tabela 4 – Estimativas dos efeitos diretos e indiretos para análises de trilha em crista geradas com base nas matrizes de correlação genotípica e fenotípica em oito cultivares de soja cultivadas em terras baixas de Itaquí - Rio Grande do Sul na safra 2014/2015.

Análise de Trilha Genotípica										
	Variáveis ⁽¹⁾									
	AP	AIPV	NR	NN	NV	NG	NGV	MP	MV	MCG
Efeito Direto sobre MG	-0,088	0,116	0,043	-0,085	0,154	0,163	0,020	0,285	0,334	0,293
Efeito Indireto via AP	-	-0,080	-0,053	-0,081	-0,028	-0,042	-0,058	-0,044	-0,019	0,044
Efeito Indireto via AIPV	0,106	-	0,080	0,108	0,058	0,072	0,070	0,090	0,066	-0,020
Efeito Indireto via NR	0,026	0,030	-	0,031	0,030	0,037	0,031	0,031	0,023	-0,023
Efeito Indireto via NN	-0,078	-0,079	-0,060	-	-0,037	-0,045	-0,047	-0,051	-0,029	0,033
Efeito Indireto via NV	0,048	0,077	0,108	0,067	-	0,140	0,042	0,117	0,117	-0,049
Efeito Indireto via NG	0,078	0,101	0,140	0,087	0,148	-	0,104	0,143	0,129	-0,068
Efeito Indireto via NGV	0,013	0,012	0,014	0,011	0,006	0,013	-	0,012	0,008	-0,010
Efeito Indireto via MP	0,144	0,221	0,206	0,171	0,217	0,251	0,177	-	0,270	-0,006
Efeito Indireto via MV	0,074	0,190	0,176	0,116	0,255	0,265	0,126	0,316	-	0,070
Efeito Indireto via MCG	-0,147	-0,050	-0,154	-0,113	-0,093	-0,122	-0,145	-0,006	0,061	-
Correlação com MG	0,167	0,550	0,505	0,303	0,726	0,747	0,324	0,922	0,992	0,294
FIV	7,731	9,332	4,703	5,840	6,549	9,155	4,279	9,427	7,877	4,823
R ² da análise de trilha	0,965	Valor de k: 0,100				Número de condição: 81,463				

Análise de Trilha Fenotípica										
	Variáveis ⁽¹⁾									
	AP	AIPV	NR	NN	NV	NG	NGV	MP	MV	MCG
Efeito Direto sobre MG	-0,080	0,099	0,035	-0,068	0,160	0,181	0,041	0,245	0,346	0,296
Efeito Indireto via AP	-	-0,072	-0,045	-0,074	-0,026	-0,037	-0,050	-0,039	-0,018	0,039
Efeito Indireto via AIPV	0,090	-	0,063	0,092	0,045	0,057	0,055	0,071	0,051	-0,015
Efeito Indireto via NR	0,019	0,022	-	0,023	0,023	0,029	0,024	0,024	0,018	-0,017
Efeito Indireto via NN	-0,063	-0,063	-0,046	-	-0,030	-0,035	-0,036	-0,039	-0,023	0,025
Efeito Indireto via NV	0,051	0,073	0,108	0,069	-	0,146	0,041	0,123	0,124	-0,045
Efeito Indireto via NG	0,084	0,103	0,150	0,094	0,165	-	0,112	0,159	0,145	-0,070
Efeito Indireto via NGV	0,026	0,023	0,028	0,022	0,011	0,025	-	0,024	0,015	-0,020
Efeito Indireto via MP	0,120	0,175	0,170	0,141	0,190	0,215	0,144	-	0,232	0,002
Efeito Indireto via MV	0,076	0,178	0,179	0,117	0,268	0,278	0,129	0,328	-	0,077
Efeito Indireto via MCG	-0,142	-0,046	-0,147	-0,109	-0,084	-0,114	-0,141	0,003	0,066	-
Correlação com MG	0,172	0,501	0,499	0,299	0,739	0,762	0,324	0,924	0,992	0,303
FIV ⁽²⁾	6,849	7,032	3,979	5,594	6,382	8,784	3,856	8,438	7,657	4,320
R ² da análise de trilha	0,961	Valor de k: 0,100				Número de condição: 62,155				

⁽¹⁾ AP: Altura de planta; AIPV: Altura de inserção da primeira vagem; NR: Número de ramos; NN: Número de nós; NV: Número de vagens; NG: Número de grãos; NGV: Número de grãos por vagem; MP: Massa da planta na colheita; MV: Massa de vagens na colheita; MCG: Massa de cem grãos; MG: Massa de grãos por planta;

⁽²⁾FIV: Fator de inflação de variância.

Embora a MCG tenha apresentado correlação baixa com a MG, a quase totalidade dessa correlação se deu via efeito direto sobre MG, indicando relação de causa e efeito. Nogueira (2011) verificou também baixa correlação entre massa de cem grãos com a produção de grãos. Já Rigon et al. (2012) verificaram relação direta positiva para massa de cem grãos com o rendimento de grão. Dessa forma, pode-se concluir que independentemente da matriz de correlação utilizada na análise de trilha em crista (genotípica ou fenotípica), MV, MP e MCG apresentaram os maiores correlações e efeitos diretos sobre a massa de grãos, sendo assim, as variáveis com maiores relações de causa e efeito sobre a MG, portanto podem ser utilizadas para a seleção indireta de plantas mais produtivas. Além disso, a MV e a MP atuam indiretamente via outras variáveis sobre MG. Por outro lado, as demais variáveis explicativas apresentam menores efeitos diretos sobre MG e efeitos indiretos via MV e MP.

O diagnóstico de multicolinearidade nas matrizes de correlação genotípica e fenotípica indicou multicolinearidade severa, ou seja, com número de condição maior que 1000, quando as dez variáveis explicativas estavam presentes sem adição de constante na diagonal da matriz de correlação. A exclusão das variáveis AIPV, NN, NG, NGV e MV proporcionou redução do número de condição da análise de trilha genotípica para 49,024 e na fenotípica para 43,247, indicando multicolinearidade fraca (Tabela 5). Assim, na análise de trilha tradicional, as variáveis explicativas utilizadas na predição de MG foram AP, NR, NV, MP e MCG.

A predição das análises de trilha genotípica ($R^2 = 1,000$) e fenotípica ($R^2 = 0,989$) foi elevada, indicando que o uso das cinco variáveis explicativas (AP, NR, NV, MP e MCG) é suficiente para a adequada previsão de MG. Observou-se alta correlação da MP com MG (0,922 – Tabela 3) e o maior efeito direto positivo sobre MG na análise de trilha genotípica (0,858) e na análise de trilha fenotípica (0,804 – Tabela 5). Dessa forma, a seleção indireta poderá ser realizada com base na massa da planta.

Tabela 5 – Estimativas dos efeitos diretos e indiretos da análise de trilha realizada após a exclusão de variáveis explicativas altamente correlacionadas, tanto em matrizes de correlação genotípica quanto fenotípica, com base em variáveis avaliadas em oito cultivares de soja cultivadas em terras baixas de Itaqui - Rio Grande do Sul na safra 2014/2015.

Análise de Trilha Genotípica					
	Variáveis ⁽¹⁾				
	AP	NR	NV	MP	MCG
Efeito Direto	-0,189	-0,015	0,231	0,858	0,283
Efeito Indireto via AP	-	-0,114	-0,059	-0,096	0,095
Efeito Indireto via NR	-0,009	-	-0,010	-0,011	0,008
Efeito Indireto via NV	0,073	0,163	-	0,176	-0,073
Efeito Indireto via MP	0,435	0,620	0,655	-	-0,019
Efeito Indireto via MCG	-0,142	-0,149	-0,089	-0,006	-
Correlação com MG	0,167	0,505	0,726	0,922	0,294
Fator de Inflação da Variância	2,825	4,618	4,314	8,134	3,942
R ² da análise de trilha	1,000	Número de condição: 49,024			

Análise de Trilha Fenotípica					
	Variáveis ⁽¹⁾				
	AP	NR	NV	MP	MCG
Efeito Direto	-0,166	0,014	0,243	0,804	0,291
Efeito Indireto via AP	-	-0,092	-0,053	-0,081	0,080
Efeito Indireto via NR	0,008	-	0,010	0,010	-0,007
Efeito Indireto via NV	0,078	0,164	-	0,188	-0,069
Efeito Indireto via MP	0,392	0,557	0,621	-	0,008
Efeito Indireto via MCG	-0,139	-0,145	-0,082	0,003	-
Correlação com MG	0,172	0,499	0,739	0,924	0,303
Fator de Inflação da Variância	2,477	3,802	4,083	7,547	3,534
R ² da análise de trilha	0,989	Número de condição: 43,247			

⁽¹⁾ AP: Altura de planta; NR: Número de ramos; NV: Número de vagens; MP: Massa da planta na colheita; MCG: Massa de cem grãos; MG: Massa de grãos por planta.

Tanto na análise de trilha em crista quanto na análise de trilha tradicional com exclusão de variáveis as conclusões sobre o efeito direto e indireto de variáveis explicativas sobre a massa de grãos foram similares entre as matrizes genotípica e fenotípica (Tabelas 4 e 5). Isso se deve aos valores similares de correlações genotípicas e fenotípicas (Tabela 3) e aos elevados valores de herdabilidade, de acurácia seletiva e de Fcalculado (Tabela 1), indicando que a seleção indireta com base nos valores fenotípicos e genotípicos é concordante.

4 CONCLUSÕES

Os valores das correlações genóticas e fenotípicas foram similares, onde as variáveis massa de vagens, massa de planta, número de grãos e número de vagens apresentaram as maiores correlações com a massa de grãos.

Independentemente da matriz de correlação utilizada na análise de trilha em crista (genotípica ou fenotípica), a massa de vagens, a massa de planta e a massa de cem grãos são as variáveis com maiores relações de causa e efeito sobre a massa de grãos e podem ser utilizadas para a seleção indireta de plantas mais produtivas.

A seleção indireta de massa de grãos pode ser determinada com base na massa de planta, de acordo com a análise de trilha tradicional.

5 REFERÊNCIAS

- ALCANTARA NETO, F. de; GRAVINA, G. de A.; MONTEIRO, M. M. de S.; MORAIS, F. B. de; PETTER, F. A.; ALBUQUERQUE, J. A. A. de. Análise de trilha do rendimento de grãos de soja na microrregião do Alto Médio Gurguéia. **Comunicata Scientiae**, v.2, p.107–112, 2011.
- ALMEIDA, R. D. de, PELUZIO, J. M. AFFÉRI, F. S. Divergência genética entre cultivares de soja, sob condições de várzea irrigada, no sul do Estado Tocantins. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, p.108-115, 2011.
- AKRAM, R. M.; FARES, W. M.; FATEH, H. S. A.; RIZK, A. M. A. Genetic variability, correlation and path analysis in soybean. **Egyptian Journal of Plant Breeding**, v.15, p.89–102, 2011.
- BÁRBARO, I. M. CENTURION, M. A. da C.; DI MAURO, A. O.; UNÊDA-TREVISOLI, S. H.; ARRIEL, N. H. C.; COSTA, M. M. Path analysis and expected response in indirect selection for grain yield in soybean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.6, p.151–159, 2006.
- CÂMARA, G. M. de S. Introdução ao agronegócio soja. **Departamento de Produção Vegetal - USP/ESALQ**. 2015. Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br/departamentos/lpv/sites/default/files/LPV%200584%202015%20-%20Soja%20Apostila%20Agronegocio.pdf>>. Acesso em: 24 de março de 2017.
- CARVALHO, S. P. de; CRUZ, C. D. Diagnosis of multicollinearity: Assessment of the condition of correlation matrices used in genetic studies. **Brazilian Journal of Genetics**, v.19, p.479–484, 1996.
- CARPENTIERE-PÍPOLO, V.; GASTALDI, L. F.; PÍPOLO, A. E. Correlações fenotípicas entre caracteres quantitativos em soja. **Semina: Ciência Agrárias**, v.26, p.11-16, 2005.
- CONAB. Grãos. **Acompanhamento da Safra Brasileira Grãos**, v.4, p.1-176, 2017. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_03_13_11_27_16_boletim_graos_marco_2017.pdf>. Acesso em: 14 de março 2017.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (CQFS). **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10ª ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2004. 400 p
- CRUZ, C. D. **Princípios de genética quantitativa**. UFV, Viçosa, 2005.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**, 2 ed. v.2, UFV, Viçosa, 2006.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**, 2 ed. UFV, Viçosa, 1997.

CRUZ, C. D. GENES — a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.35, p.271-276, 2013. DOI: 10.4025/actasciagron.v35i3.21251

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 2013. 353p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja**. Região central do Brasil, 2008. 280p.

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P.; SILVA, F.L. da; CHAN, B.L., 2009. **Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões**. Elsevier, Rio de Janeiro, 2009.

HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN B. J.; ANDERSON, R. E. **Multivariate data analysis**. 7 ed. Prentice Hall, 2009, 816p.

HARTWIG, I.; CARVALHO, F. I. F de; OLIVEIRA, A. C. de; VIEIRA, E. A.; SILVA, J. A. G. da; BERTAN, I.; RIBEIRO, G.; FINATTO, T.; REIS, C. E. S. dos; BUSATO, C. C. Estimativa de coeficientes de correlação e trilha em gerações segregantes de trigo hexaplóide. **Bragantia**, v.66, p.203-218, 2007.

JAIN, S.; SRIVASTAVA, S.C.; SINGH, S. K.; INDAPURKAR, Y. M.; SINGH, B. K. Studies on genetic variability, character association and path analysis for yield and its contributing traits in soybean [*Glycine max* (L .) Merrill]. **Legume Research**, v.38, p.182–184, 2015.

LEITE, W. de S.; PAVAN, B. E.; MATOS FILHO, C. H. A.; FEITOSA, F. S.; OLIVEIRA, C. B. de. Estimativas de parâmetros genéticos e correlações entre caracteres agrônomicas em genótipos de soja. **Nativa**, v.03, p.41-245, 2015.

MACHIKOWA, T.; LAOSUWAN, P. Path coefficient analysis for yield of early maturing soybean. **Songklanakarín Journal of Science and Technology**, v.33, p.365–368, 2011.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. **Introduction to linear regression analysis**. John Wiley e Sons, New York, 1982.

MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. **Soja: Fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos**. Porto Alegre: Departamento de Planta de Lavoura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Evangraf, 2005. 31p.

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

NOGUEIRA, A. P. O. **Correlações, análise de trilha e diversidade fenotípica e molecular em soja**. 2011. 139f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento)-Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2011.

OLIVEIRA, E. J. de; LIMA, D. S. de; LUCENA, R. S.; MOTTA, T. B. N.; DANTAS, J. L. D. Correlações genéticas e análise de trilha para número de frutos comerciais por planta em mamoeiro. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.45, p.855-862, 2010.

PACHECO, E. P.; CANTALICE, J. R. B. Análise de trilha no estudo dos efeitos de atributos físicos e matéria orgânica sobre a compressibilidade e resistência à penetração de argissolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.417-428, 2011.

PERINI, L. J.; FONSECA JÚNIOR, N. S.; DESTRO, D.; PRETE, C. E. C. Componentes da produção em cultivares de soja com crescimento determinado e indeterminado. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33, p.2531-2544, 2012.

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

REZENDE, P. M. de; CARVALHO, E. de A. Avaliação de cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] para o sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, p.1616-1623, 2007.

RIGON, J. P. G.; CAPUANI, S.; BRITO NETO, J. F. de; ROSA, G. M. da; WASTOWSKI, A. D.; RIGON, C. A. G. Dissimilaridade genética e análise de trilha de cultivares de soja avaliada por meio de descritores quantitativos. **Revista Ceres**, v.59, p.233-240, 2012.

SILVA, J. W. da; SOARES, L.; FERREIRA, P. V.; SILVA, P. P. da; SILVA, M. J. C. da. Correlações canônicas de características agroindustriais em cana-de-açúcar. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.29, p.345-349, 2007.

SILVA, S. S. B. da; AZEVEDO, C. V. G.; OLIVEIRA, M. P. de; TEIXEIRA, L. C. A. de A.; JUHASZ, A. C. P.; UNÊDA-TREVISOLI, S. H. Correlação fenotípicas entre componentes de produção em linhagens F3 de soja. **Ciência & Tecnologia: Fatec-JB**, v. 7, 2015.

SILVA, V. C. da; GROLI, E. L.; VAL, B. E. P.; SILVA, S. S. B. da; PILON, D. C.; ROMEIRO, F. P. M.; UNÊDA-TREVISOLI, S. H. Correlações genéticas e fenotípicas entre caracteres de importância agrônômica em soja. **Ciência & tecnologia: fatec-JB**, v.8, 2016.

SILVEIRA, J. M.; CONTE, O. **Determinação de perdas na colheita de soja: copo medidor da Embrapa**. 28 p. 2013.

SOUZA, M. O. de; MARQUES, D. V.; SOUZA, G. S.; MARA, R. O complexo de soja: Aspectos descritivos e previsões. **Pesquisa Operacional para o desenvolvimento**, v.2, p.1-86, 2010.

SOUZA, L. M. de; MELO, A. M. T. de; MELO, P. C. T. de. Correlações genotípicas, fenotípicas e ambientais entre caracteres de fruto de tomate. **Departamento de produção Vegetal - ESALQ/USP**. Campinas, SP. Disponível em:<http://www.abhorticultura.com.br/biblioteca/arquivos/Download/Biblioteca/46_0402.pdf>. Acesso em: 26 de março de 2017.

STORCK, L.; RIBEIRO, N. D. Valores genéticos de linhas puras de soja preditos com o uso do método de Papadakis. **Bragantia**, v.70, p.753-758, 2011.

SZARESKI, V. J.; SOUSA, V. Q. de; CARVALHO, I. R.; NARDINO, M.; FOLLMANN, N.; DEMARI, G. H.; FERRARI, M.; OLIVOTO, T. Ambiente de cultivo e seus efeitos aos caracteres morfológicos e bromatológicos da soja. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.5, p.79-88, 2015.

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

TOEBE, M.; CARGNELUTTI FILHO, A.; STORK, L.; LÚCIO, A. D. Direct effects on scenarios and types of path analyses in corn hybrids. **Genetics and Molecular Research**, v.16, p.1-15, 2017.

TORRES, F. E.; DAVID, G. V.; TEODORO, P. E.; RIBEIRO, L. P.; CORREA, C. G.; LUZ JÚNIOR, R. A. Desempenho agronômico e dissimilaridade genética entre genótipos de soja. **Revista de Ciências Agrárias**, v.38, p.111-117, 2015.

TORRES, F. E.; SILVA, E. C. da; TEODORO, P. E. Desempenho de fenótipos de soja nas condições edafoclimáticas do ecótono Cerrado-Pantanal. **Interações**, v.15, p.71-78, 2014.

VAL, B. H. P.; FERREIRA JÚNIOR, J. A.; BIZARE, E. H.; MAURO, A. O.; TREVISOLI, S. H. U. Diversidade genética de genótipos de soja por meio de caracteres agromorfológicos. **Ciência & Tecnologia: FATEC-JB**, v.6, p.72-82, 2014.

WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; ALMEIDA, I. R. de. **Atlas climático da Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Embrapa Florestas, 2011. 211p.

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

WRIGHT, S. The theory of path coefficients: a reply to nilés's criticism. **Genetics**, v.8, p.239-255, 1923.

WRIGHT, S. The method of path coefficients. **The Annals of Mathematical Statistics**, v.5, p.161-215, 1934. doi:10.2307/2957502

ANEXOS

Fotos do experimento de soja cultivado em terras baixas de Itaqui-RS na safra de 2014/2015, na emergência das plantas (A), no estágio vegetativo (B), no final do estágio reprodutivo (C) e na colheita (D).

