

Relações lineares entre caracteres de soja safrinha

Linear relations among traits in off-season soybean

Diego Nicolau Follmann¹, Alberto Cargnelutti Filho², Velci Queiróz de Souza³,
Maicon Nardino⁴, Ivan Ricardo Carvalho⁴, Gustavo Henrique Demari⁴, Mauricio Ferrari⁴,
Alan Junior de Pelegrin⁴ e Vinícius Jardel Szarewski⁴

¹Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Fitotecnia, CEP 97105-900, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil;

²Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Fitotecnia, CEP 97105-900, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil;

³Universidade Federal do Pampa, Dom Pedrito, Rio Grande do Sul, Brasil;

⁴Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil.

(*E-mail: diegonicolaufofollmann@gmail.com)

<http://dx.doi.org/10.19084/RCA16027>

Recebido/received: 2016.03.01

Recebido em versão revista/received in revised form: 2016.04.16

Aceite/accepted: 2016.05.12

RESUMO

No Planalto do Rio Grande do Sul, Brasil, local de clima subtropical, o cultivo da segunda safra de verão com a cultura da soja (safrinha), semeada após o cultivo de milho, vem agregando importância econômica, aumentando progressivamente sua área de cultivo e possibilitando maior produção de grãos durante o período de verão. Estudos dos caracteres dos genótipos semeados nessa condição específica, com efeito da redução da luminosidade, podem auxiliar nas futuras seleções em programas de melhoramento vegetal da cultura. O objetivo do trabalho foi avaliar as relações lineares entre caracteres de soja (*Glycine max* L.) e identificar caracteres para a seleção indireta, em segunda safra de cultivo de verão, em região subtropical. Dezoito cultivares de soja foram avaliadas em três locais do Rio Grande do Sul. As semeaduras foram realizadas em 09/01/2013, 10/01/2013 e 24/01/2013, para os experimentos conduzidos em Barra do Guarita, Vista Gaúcha e Tenente Portela, respectivamente. Foi utilizado o delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições. Foram mensurados os caracteres altura de inserção do primeiro legume, altura de planta, massa de cem grãos e produtividade de grãos. Realizou-se a análise de variância dos caracteres. Foi investigada a relação entre os caracteres por meio de análises de correlação e de trilha. No cultivo de soja em época de safrinha (segunda safra de verão), em clima subtropical, a altura de planta tem relação linear positiva com produtividade de grãos e pode ser usada para seleção indireta de cultivares mais produtivas.

Palavras-chave: *Glycine max* L., relações lineares, seleção indireta.

ABSTRACT

In the highlands of Rio Grande do Sul, Brazil, with subtropical climate, the cultivation of the second summer crop with soybean (off-season), sowed after maize, has been adding economic importance, increasing progressively its cultivation area, and allowing greater grain yield during the summer period. Studies of traits of genotypes sown in this particular condition, with reducing luminosity effect, can assist in future selections in soybean plant breeding programs. The objective of this study was to evaluate the linear relations among soybean traits (*Glycine max* L.) and identify traits for indirect selection in the second crop of summer cultivation, in subtropical region. Eighteen soybean cultivars were evaluated in three locations of Rio Grande do Sul. Sowing was performed on Jan/09/2013, Jan/10/2013, and Jan/24/2013 for the experiments carried out in Barra do Guarita, Vista Gaúcha, and Tenente Portela, respectively. The randomized block design with four replications was utilized. The traits insertion of the first pod height, plant height, one hundred grains weight, and grain yield were measured. The traits analysis of variance was performed. Relation among traits was investigated through correlation and path analysis. In off-season soybean cultivation (second summer crop) in subtropical climate, plant height has positive linear relation with grain yield and it can be used for indirect selection of more productive cultivars.

Keywords: *Glycine max* L., linear relations, indirect selection.

INTRODUÇÃO

No Brasil, o cultivo de soja (*Glycine max* L.) é de grande importância econômica e social, tornando o país o segundo maior produtor mundial da cultura, com valores relativos a exportação dos grãos e derivados ultrapassando 28,5 bilhões de dólares em 2013 (Bezerra *et al.*, 2015). O cultivo de soja em região subtropical é importante para a produção mundial, devido ao estado do Rio Grande do Sul, apresentar área de cultivo de 4.618,6 milhões de hectares, com produção de 12.534 milhões de toneladas (CONAB, 2013). A cultura de milho nessa região apresentou nos últimos anos, tendência de antecipação de semeadura, com semeaduras realizadas em início de setembro, proporcionando colheitas durante o mês de janeiro. Essa antecipação proporcionou o interesse de alguns produtores de grãos a iniciar o cultivo da soja após a colheita de grãos de milho, proporcionando a produção de duas safras de verão nessa região subtropical. A realização dessa segunda safra é chamada de cultivo de soja safrinha (Câmara, 2015), que corresponde a semeadura realizada após o período de 31 de dezembro (Anon., 2012).

Estudos com a cultura de soja, em períodos de semeadura mais amplos (safra e safrinha) são importantes para avaliação do desempenho agrônomo das cultivares de soja. Assim, pesquisas com cultivares de soja para a região sul do Brasil, semeadas em meses de outubro, novembro, dezembro, janeiro e fevereiro, ou seja, em épocas de safra e safrinha, têm sido desenvolvidos nos Estados do Paraná (Braccini *et al.*, 2004), Santa Catarina (Meotti *et al.*, 2012) e Rio Grande do Sul (Bonato *et al.*, 2001; Ludwig *et al.*, 2010). Foram apontadas reduções na altura de inserção do primeiro legume, altura de planta, massa de cem grãos e produtividade de grãos das cultivares de soja, quando cultivadas em épocas de safrinha, comparadas às semeaduras do período de safra (Braccini *et al.*, 2004; Ludwig *et al.*, 2010; Meotti *et al.*, 2012), com melhores resultados para cultivo em safrinha, quando semeadas cultivares de ciclo médio ou precoce com porte elevado (Meotti *et al.*, 2012).

Informações sobre as relações lineares entre caracteres de cultivares de soja, semeadas em época de safrinha são importantes para a identificação de caracteres para a seleção indireta, possibilitando

auxílio para seleção de genótipos promissores em programas de melhoramento, para o cultivo de segunda safra em regiões subtropicais. Os coeficientes de correlação fenotípica e genotípica podem ser utilizados como medida do grau de relacionamento entre dois caracteres e, no caso de mais de dois caracteres em estudo, a análise de trilha é apropriada e fornece informações importantes sobre as inter-relações entre os caracteres. Na análise de trilha, os coeficientes de correlação são desdobrados em efeitos diretos e indiretos, o que permite medir a influência de uma variável sobre a outra, independentemente das demais (Cruz, 2013). Assim, é importante aplicar esses procedimentos estatísticos para identificar relações de causa e efeito entre caracteres, sendo que caracteres com relação de causa e efeito podem ser utilizados na seleção indireta de plantas.

Pesquisas englobando análises de correlação e/ou de trilha com caracteres de soja têm sido realizadas (Peluzio *et al.*, 2005; Almeida *et al.*, 2010; Nogueira *et al.*, 2012; Kavalco *et al.*, 2014; Leite *et al.*, 2015; Souza *et al.*, 2015; Teodoro *et al.*, 2015). Nas análises de trilha a produtividade de grãos tem sido utilizada como caractere principal em função de diversos caracteres explicativos. De maneira geral, os estudos possibilitaram identificar caracteres para a seleção indireta de genótipos com maior produtividade de grãos.

Estudos sobre as relações lineares entre os caracteres altura de inserção do primeiro legume, altura de planta, massa de cem grãos e produtividade de grãos de cultivares de soja, semeadas em época de safrinha (segunda safra de verão) em clima subtropical, não foram encontrados na literatura. Supõe-se que essas relações lineares existam e que possam ser utilizadas para a seleção indireta de cultivares mais produtivas. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar as relações lineares entre caracteres de soja (*Glycine max* L.) e identificar caracteres para a seleção indireta, em segunda safra de cultivo de verão, em região subtropical.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos três experimentos com a cultura de soja, em cultivo de segunda safra, após o cultivo da cultura de milho, que apresenta semeadura em

período após o inverno e colheita no mês de janeiro do ano seguinte. Os experimentos foram semeados em áreas destinadas ao cultivo comercial de grãos, na propriedade de produtores rurais, sobretudo para uma melhor representação desse sistema produtivo, milho e soja safrinha, onde ao lado do experimento também foi semeado lavoura de soja safrinha em sucessão a cultura de milho. Expondo os genótipos desse estudo a uma condição real de cultivo.

Um experimento foi conduzido em Barra do Guarita (latitude 27°09'S, longitude 53°46'W e 168m de altitude), um em Vista Gaúcha (latitude 29°11'S, longitude 53°47'W e 338m de altitude) e o outro em Tenente Portela (latitude 27°23' S, longitude 53°46' W, e 442m de altitude). Esses ambientes foram escolhidos em função da sua localização geográfica, onde é representativo o cultivo de primeira safra de verão com a cultura de milho e a segunda safra de verão com a cultura de soja safrinha. Os ambientes de cultivo apresentam variações ambientais, onde se tem uma diferença de 274 metros de altitude do experimento de Tenente Portela em relação ao experimento de Barra do Guarita, possibilitando diferentes microclimas e, conseqüentemente, variabilidade com relação as condições ambientais. Conforme a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa, subtropical úmido, com verões quentes e sem estação de seca definida. O solo é classificado como Latossolo Vermelho aluminoférrico (Santos *et al.*, 2006).

As semeaduras foram realizadas em 09/01/2013, 10/01/2013 e 24/01/2013, respectivamente, para os experimentos conduzidos em Barra do Guarita, Vista Gaúcha e Tenente Portela. Nos três experimentos foram avaliadas dezoito cultivares de soja ('FPS Urano RR', 'Don Mario 6200', 'BRS Tordilha RR', 'BMX Ativa RR', 'Fundacep 65 RR', 'FPS Solimões RR', 'BMX Alvo RR', 'BMX Apolo RR', 'FPS Iguaçu RR', 'BMX Força RR', 'BMX Classe RR', 'BMX Potência RR', 'FPS Paranapanema RR', 'BMX Energia RR', 'BMX Tornado RR', 'FPS Júpiter RR', 'BMX Magna RR' e 'BMX Turbo RR'). Essas cultivares foram avaliadas em sucessão a cultura de milho, ou seja, em segunda safra de verão, conhecida como soja safrinha.

Os experimentos foram conduzidos no delineamento blocos ao acaso, com quatro repetições

(blocos). As unidades experimentais (parcelas) foram compostas de quatro fileiras de 5,0 m de comprimento, espaçadas de 0,45 m. A área útil de 3,6 m², foi obtida eliminando-se as duas fileiras externas e 0,5 m em cada extremidade da parcela.

A semeadura foi realizada no sistema de plantio direto na palha, em sucessão a cultura de milho, em um sistema de sucessão de cultivos de verão milho-soja, nos três experimentos, com recomendações de adubação e calagem conforme o Manual de Adubação e Calagem do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Anon., 2004). As áreas de cultivo fazem parte de um sistema de semeadura direta por um período superior a 10 anos, com correções periódicas de fertilidade. A densidade de semeadura foi ajustada por meio de desbaste para 15 plantas por metro de fileira. Nos três experimentos, a adubação de base foi realizada no sulco de semeadura na dosagem de 5 kg ha⁻¹ de N, 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 50 kg ha⁻¹ de K₂O. Os tratos culturais foram realizados sempre que necessário, seguindo recomendações para a cultura de soja (Anon., 2014).

Em cada experimento, foram avaliados os caracteres altura de inserção do primeiro legume (AIPL), em cm, altura de planta (AP), em cm, massa de cem grãos (MCG), em g, e produtividade de grãos (PROD), em t ha⁻¹. As alturas de inserção do primeiro legume e de planta foram obtidas por medições feitas em cinco plantas, tomadas, aleatoriamente, na área útil da parcela. A altura de inserção do primeiro legume foi obtida por meio da distância, em cm, entre a superfície do solo e o ponto de inserção do primeiro legume. A altura de planta foi obtida pela distância, em cm, entre a superfície do solo e o ápice da haste principal da planta. As avaliações da altura da inserção do primeiro legume e altura de plantas foram realizadas em momento anterior a colheita, nos dias 08/05/2013, 11/05/2013 e 18/05/2013 para os experimentos conduzidos em Barra do Guarita, Vista Gaúcha e Tenente Portela, respectivamente. A massa de cem grãos e a produtividade de grãos foram obtidas por meio da colheita dos grãos de todas as plantas da área útil da parcela, com avaliações que foram realizadas na semana posterior a colheita, junto ao Laboratório de Melhoramento Genético e Produção de Plantas, da Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Frederico Westphalen-RS. Em cada um dos experimentos,

para os caracteres AIPL, AP, MCG e PROD, foram realizadas as análises de variância e os testes F para os efeitos de bloco e de cultivar, a 5% de probabilidade. Anotaram-se as estimativas do quadrado médio de cultivar (QM_C) e do quadrado médio do erro (QM_E). Calcularam-se a seguir, a média geral do experimento (m) e o coeficiente de variação ($CV = 100 \cdot \sqrt{QM_E} / m$). Logo após, estimou-se a acurácia seletiva (AS), por meio da expressão $AS = (1 - (QM_E / QM_C))^{0.5}$ e avaliou-se a precisão experimental de acordo com os limites de classes de AS estabelecidos em Resende e Duarte (2007).

Para o estudo das relações lineares, foram estimadas as matrizes de coeficientes de correlação fenotípica (r_f) e genotípica (r_g) entre os caracteres AIPL, AP, MCG e PROD. Após, por meio do teste t de Student, a 5% de probabilidade, foi verificada a significância do r_f e do r_g .

A seguir foi realizado o diagnóstico de multicolinearidade (Cruz, 2013), nas matrizes de coeficientes de correlação fenotípica (r_f) e genotípica (r_g) entre os caracteres AIPL, AP e MCG, em cada experimento. Para a interpretação do diagnóstico de multicolinearidade utilizou-se o número de condição (NC) e considerou-se multicolinearidade fraca quando $NC < 100$, multicolinearidade moderada a severa quando $100 \leq NC \leq 1.000$ e, multicolinearidade severa quando $NC > 1.000$, conforme critério de Montgomery e Peck (1982).

Depois disso, para cada experimento, foi realizada a análise de trilha da variável principal (PROD) em função das variáveis explicativas (AIPL, AP e MCG). As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do aplicativo Microsoft Office Excel® e do software Genes (Cruz, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os limites de classes de precisão experimental da estatística acurácia seletiva (AS) (Resende e Duarte, 2007), entre os 12 casos avaliados (quatro caracteres \times três experimentos), sete apresentaram precisão experimental muito alta ($AS \geq 0,90$), quatro com precisão alta ($0,70 \leq AS < 0,90$) e um caso com precisão moderada ($0,50 \leq AS < 0,70$) (Quadro 1). Adicionalmente, de maneira geral, entre os ambientes, as cultivares de

soja apresentaram desempenho agrônômico superior (maiores AIPL, AP, MCG e PROD) em Barra do Guarita, Vista Gaúcha e Tenente Portela, nessa ordem.

Na condução de experimentos em condições de campo, pode-se ter a influência de fatores ambientais, como a fertilidade natural do solo, microrganismos que proporcionam o condicionamento ao solo, balanço hídrico, temperatura e microclima junto ao dossel vegetativo, sobretudo essas possíveis fontes de variação não foram aprofundadas nesse estudo. No entanto, as lavouras de soja safrinha que fizeram bordadura aos experimentos e os genótipos estudados, apresentaram bom desenvolvimento, mostrando representatividade e confiabilidade para o presente estudo. Deve-se considerar no estudo de relações lineares além do grau de interferência da correlação, também o seu sentido positivo ou negativo, onde dentro de um universo com dezoito cultivares e três ambientes tem-se representatividade e subsídios para auxílio de seleção de caracteres em futuros programas de melhoramento vegetal de soja safrinha.

Além das diferenças ambientais entre os locais, possivelmente, a semeadura mais tardia (24/01/2013) em Tenente Portela, em relação às semeaduras realizadas em 09/01/2013 e 10/01/2013, respectivamente, para os experimentos conduzidos em Barra do Guarita, Vista Gaúcha, podem ter contribuído para explicar as variações de desempenho das cultivares nesses locais, devido a maior influência do fotoperíodo sobre o desempenho dos genótipos, em virtude do atraso dessa semeadura. No entanto representando variabilidade entre os ambientes, para o sistema de cultivo milho e soja safrinha, que procede de semeadura durante todo o mês de janeiro.

De acordo com Sedyama *et al.* (2015), as cultivares de soja mais produtivas, apresentam AIPL entre 10 e 15 cm e AP entre 50 e 90 cm. Nos três experimentos conduzidos em condição de safrinha, as médias para AIPL foram de 13,227 cm em Barra do Guarita, 11,041 cm em Vista Gaúcha e 8,049 cm em Tenente Portela (Quadro 1). Para a variável AP a média em Barra do Guarita foi de 69,186 cm, em Vista Gaúcha foi 57,775 cm e em Tenente Portela foi 38,190 cm. Entre os três experimentos, os conduzidos em Barra do Guarita e Vista Gaúcha,

Quadro 1 - Análise de variância e significância do quadrado médio das fontes de variação em relação à altura de inserção do primeiro legume, altura de planta, massa de cem grãos e produtividade de grãos. Coeficiente de variação experimental (CV), acurácia seletiva (AS) (1), menor média, maior média e média geral entre as 18 cultivares de soja, avaliadas em três ambientes (Barra do Guarita, Vista Gaúcha e Tenente Portela) da região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul

Fonte de variação/cultivar	Barra do Guarita	Vista Gaúcha	Tenente Portela	Barra do Guarita	Vista Gaúcha	Tenente Portela
	Altura de inserção do primeiro legume, em cm			Altura de planta, em cm		
Bloco (GL = 3)	5,123 ^{ns}	8,609 ^{ns}	5,173 ^{ns}	110,536*	176,934*	321,226*
Cultivar (GL = 17)	28,567*	28,545*	8,512*	554,872*	565,847*	242,148*
Resíduo (GL = 51)	3,523	6,101	1,884	23,951	36,319	27,669
CV (%)	14,19	22,37	17,05	7,07	10,43	13,77
AS	0,936	0,887	0,882	0,978	0,967	0,941
Menor média	9,000	6,975	5,500	48,650	39,500	23,950
Maior média	20,150	15,885	11,075	86,788	77,975	50,400
Média	13,227	11,041	8,049	69,186	57,775	38,190
	Massa de cem grãos, em g			Produtividade de grãos, em t ha ⁻¹		
Bloco (GL = 3)	2,188*	1,036 ^{ns}	1,161*	0,071 ^{ns}	0,031 ^{ns}	0,447*
Cultivar (GL = 17)	7,344*	9,223*	7,740*	0,429 ^{ns}	0,715*	0,277*
Resíduo (GL = 51)	0,348	0,473	0,328	0,277	0,185	0,078
CV (%)	4,16	5,17	5,03	20,17	21,95	26,74
AS	0,976	0,974	0,979	0,596	0,861	0,848
Menor média	12,674	10,403	9,428	2,145	1,245	0,646
Maior média	17,396	16,481	14,400	3,306	2,721	1,563
Média	14,164	13,295	11,398	2,607	1,957	1,044

(1) Limites de classes de precisão experimental estabelecidos em Resende e Duarte (2007): Muito alta (AS ≥ 0,90), Alta (0,70 ≤ AS < 0,90), Moderada (0,50 ≤ AS < 0,70) e Baixa (AS < 0,50). GL: Graus de liberdade. *: Efeito significativo pelo teste F em nível de 5% de probabilidade. ns Não significativo.

apresentam médias de AIPL e AP dentro das faixas consideradas ideais (Sediyama *et al.*, 2015). Já para o experimento conduzido em Tenete Portela os dois valores médios (AIPL = 8,049 cm e AP = 38,190 cm) foram enquadrados abaixo do mínimo, conforme Sediyama *et al.* (2015).

Nos três experimentos, o efeito de cultivar foi significativo ($P \leq 0,05$) para os caracteres altura de inserção do primeiro legume (AIPL), altura de planta (AP) e massa de cem grãos (MCG) (Quadro 1). Para a produtividade de grãos (PROD), houve efeito significativo de cultivar no experimento conduzido em Vista Gaúcha e Tenente Portela. Porém, no experimento conduzido em Barra do Guarita não houve efeito significativo. Nesse experimento, a não discriminação das cultivares, por meio do teste F, pode não ser devido a não existência de variabilidade genética e sim, provavelmente, à moderada precisão experimental (acurácia seletiva = 0,596) (Resende e Duarte, 2007). O efeito significativo de cultivar indica que para os caracteres AIPL,

AP, MCG e PROD há variabilidade genética. A comparação de médias, por meio de algum teste de comparação de médias, como o teste de *Scott Knott*, é adequado. Porém, investigações mais detalhadas sobre a comparação de médias das cultivares não foram o foco desse estudo e, por isso, não foram realizadas.

Para o objetivo desse estudo é importante identificar a presença e a magnitude da variabilidade entre as cultivares. A amplitude da variabilidade entre as cultivares pode ser identificada por meio da diferença entre maior média e a menor média (Quadro 1). Por exemplo, a altura de inserção do primeiro legume das cultivares, em Barra do Guarita, oscilou entre 9,00 e 20,15 cm (amplitude = 11,15 cm) e a média das 18 cultivares foi 13,227 cm. A elevada precisão experimental, a variabilidade existente entre as cultivares, o número expressivo de cultivares (18 cultivares) e o número importante de locais (três), conferem adequabilidade desse banco de dados, para o estudo das relações lineares

Quadro 2 - Matrizes de correlação fenotípica (acima da diagonal) e genotípica (abaixo da diagonal) entre os caracteres: altura de inserção do primeiro legume, altura de planta, massa de cem grãos e produtividade de grãos, de 18 cultivares de soja, avaliadas em três ambientes (Barra do Guarita, Vista Gaúcha e Tenente Portela), da região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul

Caractere	AIPL	AP	MCG	PROD
Barra do Guarita				
AIPL	1	0,6941*	-0,0468 ^{ns}	0,0011 ^{ns}
AP	0,7314*	1	-0,0174 ^{ns}	0,4197 ^{ns}
MCG	-0,0674 ^{ns}	-0,0369 ^{ns}	1	0,2693 ^{ns}
PROD	0,0011 ^{ns}	0,5717*	0,3919 ^{ns}	1
Vista Gaúcha				
AIPL	1	0,5741*	-0,2351 ^{ns}	-0,2788 ^{ns}
AP	0,6016*	1	-0,0621 ^{ns}	0,2267 ^{ns}
MCG	-0,2984 ^{ns}	-0,0745 ^{ns}	1	0,4343 ^{ns}
PROD	-0,3381 ^{ns}	0,2177 ^{ns}	0,5047*	1
Tenente Portela				
AIPL	1	0,5683*	-0,0755 ^{ns}	0,0349 ^{ns}
AP	0,6193*	1	0,2079 ^{ns}	0,7554*
MCG	-0,0698 ^{ns}	0,2124 ^{ns}	1	0,4412 ^{ns}
PROD	0,1309 ^{ns}	0,8208*	0,5053*	1

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t de Student, com 16 graus de liberdade. ns Não-significativo.

entre os caracteres, por meio das análises de correlação fenotípica e genotípica e da análise de trilha.

As matrizes de correlação fenotípica e genotípica foram similares, nos três ambientes (Quadro 2). De maneira geral, entre AIPL e PROD, as correlações foram de baixa magnitude (entre -0,3381 e 0,0011, com média = -0,0748), comparadas as correlações entre AP e PROD, que foram positivas e de maior magnitude (entre 0,2177 e 0,8208, com média = 0,5020). Já a MCG e PROD apresentaram correlações positivas entre 0,2693 e 0,5053, com média = 0,4245. Assim, espera-se que cultivares com maior AP e MCG estejam associadas a cultivares com maior PROD. Porém, apenas por meio dos coeficientes de correlação, não é possível inferir qual dos caracteres (AIPL, AP e MCG) tem efeito direto na produtividade de grãos. Dessa forma, é importante desdobrar esses coeficientes, por meio de análise de trilha, em efeitos diretos e indiretos para comprovar as reais associações de causa e efeito entre esses caracteres (Cruz, 2013).

O diagnóstico de multicolinearidade nas matrizes de coeficientes de correlação fenotípica (r_f) e genotípica (r_g) entre os caracteres explicativos (AIPL, AP e MCG), em cada experimento, revelou número de condição entre 4,12 (matriz de correlação fenotípica no experimento conduzido em Vista Gaúcha)

e 6,49 (matriz de correlação genotípica no experimento conduzido em Barra do Guarita) (Quadro 3). Portanto, as matrizes apresentaram colinearidade baixa, conforme critério de Montgomery e Peck (1982). Assim, pode-se inferir que as análises de trilha da produtividade de grãos de soja (PROD) em função das variáveis explicativas (AIPL, AP e MCG), mensuradas nos três experimentos, foram realizadas em condições adequadas.

Os efeitos diretos de AP sobre PROD, obtidos a partir das matrizes de correlação fenotípica e genotípica, nos três ambientes, foram positivos e de elevada magnitude ($0,5390 \leq$ efeito direto $\leq 1,2175$), o que revela associação de causa e efeito entre esses caracteres (Quadro 3). Já, para MCG e PROD, os efeitos diretos foram positivos, porém com magnitude inferior ($0,1901 \leq$ efeito direto $\leq 0,3786$), o que sugere inexistência de relação linear entre esses caracteres. Entre AIPL e PROD os efeitos diretos foram negativos e de magnitude intermediária ($-0,5062 \leq$ efeito direto $\leq -0,8639$), ou seja, inferiores efeitos diretos de AP sobre PROD e superiores aos efeitos diretos de MCG sobre PROD. Porém, as correlações fenotípica e genotípica entre AIPL e PROD foram de baixa magnitude (entre -0,3381 e 0,0011) e, podem ser explicadas pelo elevado efeito indireto positivo de AP sobre PROD ($0,3094 \leq$ efeito indireto

Quadro 3 - Efeitos diretos e indiretos na análise de trilha, a partir das matrizes de correlação fenotípica e genotípica, dos caracteres explicativos altura de inserção do primeiro legume (AIPL), altura de planta (AP), massa de cem grãos (MCG) sobre a produtividade de grãos (PROD) de 18 cultivares de soja, avaliadas em três ambientes (Barra do Guarita, Vista Gaúcha e Tenente Portela), da região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Coeficiente de determinação, efeito da variável residual e número de condição

Efeitos	Matriz de correlação fenotípica			Matriz de correlação genotípica		
	Barra do Guarita					
	AIPL	AP	MCG	AIPL	AP	MCG
Efeito direto sobre PROD	-0,5427	0,8009	0,2578	-0,8639	1,2175	0,3786
Efeito indireto via AIPL		-0,3767	0,0254		-0,6318	0,0582
Efeito indireto via AP	0,5559		-0,0139	0,8905		-0,0449
Efeito indireto via MCG	-0,0121	-0,0045		-0,0255	-0,0140	
Total	0,0011 ^{ns}	0,4197 ^{ns}	0,2693 ^{ns}	0,0011 ^{ns}	0,5717*	0,3919 ^{ns}
Coeficiente de determinação		0,4050			0,8435	
Efeito da variável residual		0,7714			0,3956	
Número de condição		5,56			6,49	
	Vista Gaúcha					
	AIPL	AP	MCG	AIPL	AP	MCG
Efeito direto sobre PROD	-0,5062	0,5390	0,3487	-0,5864	0,5984	0,3743
Efeito indireto via AIPL		-0,2906	0,1190		-0,3528	0,1750
Efeito indireto via AP	0,3094		-0,0335	0,3600		-0,0446
Efeito indireto via MCG	-0,0820	-0,0217		-0,1117	-0,0279	
Total	-0,2788 ^{ns}	0,2267 ^{ns}	0,4343 ^{ns}	-0,3381 ^{ns}	0,2177 ^{ns}	0,5047*
Coeficiente de determinação		0,4148			0,5174	
Efeito da variável residual		0,7650			0,6947	
Número de condição		4,12			4,79	
	Tenente Portela					
	AIPL	AP	MCG	AIPL	AP	MCG
Efeito direto sobre PROD	-0,5282	1,0160	0,1901	-0,5359	1,1031	0,2336
Efeito indireto via AIPL		-0,3002	0,0399		-0,3319	0,0374
Efeito indireto via AP	0,5774		0,2112	0,6831		0,2343
Efeito indireto via MCG	-0,0144	0,0395		-0,0163	0,0496	
Total	0,0349 ^{ns}	0,7554*	0,4412 ^{ns}	0,1309 ^{ns}	0,8208*	0,5053*
Coeficiente de determinação		0,8329			0,9533	
Efeito da variável residual		0,4087			0,2161	
Número de condição		4,31			5,09	

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t de Student, com 16 graus de liberdade. ns Não-significativo.

≤ 0,8905), o que revela a não associação de causa e efeito entre AIPL e PROD. Assim, com base nas matrizes de correlação fenotípica e genotípica e nas análises de trilha, pode-se inferir que a altura de planta foi o caractere que apresentou maior associação linear positiva com a produtividade de grãos. Portanto, cultivares mais altas estão associadas a maior produtividade de grãos. Assim, conclui-se que a altura de planta pode ser usada para seleção indireta de plantas mais produtivas.

Estudos sobre relações lineares em soja, também apontaram a AP como caractere a ser considerado na seleção para o aumento da produtividade de grãos (Leite *et al.*, 2015; Peluzio *et al.*, 2005; Teodoro *et al.*, 2015). No entanto, em outros ambientes, em que foram conduzidos ensaios com genótipos de soja, foram observados efeitos positivos dos caracteres AIPL (Almeida *et al.*, 2010) e massa de grãos (Kavalco *et al.*, 2014; Souza *et al.*, 2015) sobre a produtividade de grãos. Os resultados contrastantes,

para a seleção de genótipos mais produtivos na cultura de soja, dependem do ambiente de cultivo. A expressão do fenótipo está diretamente relacionada com a interação entre o genótipo e o ambiente, ou seja, com a mudança de ambiente de cultivo ocorre diferente expressão do genótipo em fenótipo (Ramalho *et al.*, 2012).

O ambiente de cultivo de soja, semeada nos meses de janeiro e fevereiro (cultivo de safrinha), em sucessão a cultura de milho, é diferenciado em relação ao cultivo de safra, com semeadura de soja até dia 31 de dezembro (Anon, 2012). Essa época tardia (cultivo de safrinha) interage com a expressão do genótipo em fenótipo, proporcionando redução da AIPL, AP, MCG e PROD (Braccini *et al.*, 2004; Ludwig *et al.*, 2010; Meotti *et al.*, 2012; Câmara, 2015). Essa diferença ambiental do período safrinha em relação ao período safra, está relacionada com a redução do fotoperíodo (Silva *et al.*, 2015). A redução do fotoperíodo afeta a maturação, a altura de plantas e o peso de sementes (Silva *et al.*, 2015). Esse cenário ambiental menos favorável da safrinha em relação à safra, reforça a importância de selecionar plantas com

maior altura para a obtenção de cultivares mais produtivos para serem cultivados em período de safrinha.

CONCLUSÕES

No cultivo de soja em safrinha (segunda safra de verão), em clima subtropical, a altura de planta tem relação linear positiva com a produtividade de grãos e pode ser usada para seleção indireta de cultivares mais produtivas.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsas aos autores. A Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelo aporte financeiro e concessão de bolsas. Aos agricultores Edson Tadeu Kosman, Gilmar Alfeu Demari e Pablo Verdi, pela contribuição junto ao trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, R.D.; Peluzio, J.M. & Afferri, F.S. (2010) – Correlações fenotípicas, genotípicas e ambientais em soja cultivada sob condições várzea irrigada, sul do Tocantins. *Bioscience Journal*, vol. 26, n. 1, p. 95-99.
- Anon. (2004). *Manual de Adubação e de Calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*. 10.^a ed. Comissão de Química e Fertilidade do Solo-RS/SC, Porto Alegre. 400 p.
- Anon. (2012). *Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul – Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2012/2013 e 2013/2014*. Embrapa Trigo, Passo Fundo, 142 p.
- Anon. (2014). *Indicações Técnicas para a Cultura da Soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2014/2015 e 2015/2016*. 1^o ed. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, 124 p.
- Bezerra, A.R.G.; Sedyama, T.; Borém, A. & Soares, M.M. (2015) – Importância Econômica. In: Sedyama, T.; Silva, F. & Borém, A. (Eds.) – *Soja do plantio à colheita*. UFV, Viçosa, p. 9-26.
- Bonato, E.R.; Lange, C.E. & Bertagnolli, P.F. (2001) – Desempenho de cultivares de soja de diferentes ciclos em semeaduras de dezembro, na região do planalto médio do Rio Grande do Sul. *Ciência Rural*, vol. 31, n. 6, p. 935-940. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782001000600002>
- Braccini, A.L.; Motta, I.S.; Scapim, C.A.; Braccini, M.C.L.; Ávila, M.R. & Meschede, D.K. (2004) – Características agronômicas e rendimento de sementes de soja na semeadura realizada no período de safrinha. *Bragantia*, vol. 63, n. 1, p. 81-92. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052004000100009>
- Câmara, G.M.S. (2015) – Preparo do solo e plantio. In: Sedyama, T.; Silva, F. e Borém, A. (Eds.) – *Soja do plantio à colheita*. UFV, Viçosa, p. 66-109.

- CONAB (2013) – *Acompanhamento da safra brasileira: grãos, décimo primeiro levantamento*. 1.^a ed. Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília, 30 p.
- Cruz, C.D. (2013) – GENES – a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum Agronomy*, vol. 35, n. 3, p. 271-276. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251>
- Kavalco, S.A.F.; Souza, V.Q.; Follmann, D.N.; Carvalho, I.R.; Nardino, M. & Demari, G.H. (2014) – Desenvolvimento da soja com aplicações de hormônios em diferentes densidades de cultivo. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, vol. 4, n. 2, p. 112-120.
- Leite, W.S.; Pavan, B.E.; Matos Filho, C.H.A.; Feitosa, F.S. & Oliveira, C.B. (2015) – Estimativas de parâmetros genéticos e correlações entre caracteres agrônômicos em genótipos de soja. *Nativa*, vol. 3, n. 4, p. 241-245. <http://dx.doi.org/10.14583/2318-7670.v03n04a03>
- Ludwig, M.P.; Dutra, L.M.C.; Lucca Filho, O.A.; Zabot, L.; Uhry, D.; Lisboa, J.I. & Jauer, A. (2010) – Características morfológicas de cultivares de soja convencionais e *Roundup Ready*TM em função da época e densidade de semeadura. *Ciência Rural*, vol. 40, n. 4, p. 759-767. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782010000400003>
- Meotti, G.V.; Benin, G.; Silva, R.R.; Beche, E. & Munaro, L.B. (2012) – Épocas de semeadura e desempenho agrônômico de cultivares de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 47, n. 1, p. 14-21.
- Montgomery, D.C. & Peck, E.A. (1982) – Introduction to linear regression analysis. John Wiley e Sons, New York, 504 p.
- Nogueira, A.P.O.; Sediyaama, T.; Sousa, L.B.; Hamawaki, O.T.; Cruz, C.D.; Pereira, D.G. & Matsuo, É. (2012) – Análise de trilha e correlações entre caracteres em soja cultivada em duas épocas de semeadura. *Bioscience Journal*, vol. 28, n. 6, p. 877-888.
- Peluzio, J.M.; Almeida, R.D.; Fidelis, R.R.; Almeida Júnior, D.; Brito, E.L. & Francisco, E.R. (2005) – Correlações entre caracteres de soja em Gurupi, Tocantins. *Ceres*, vol. 52, n. 303, p. 779-786.
- Ramalho, M.A.P.; Santos, J.B.; Pinto, C.A.B.P.; Souza, E.A.; Gonçalves, F.M.A. & Souza, J.C. (2012) – *Genética na agropecuária*. 5.^a Ed. UFLA, Lavras, 566 p.
- Resende, M.D.V. & Duarte J.B. (2007) – Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, vol. 37, n. 3, p. 182-194.
- Santos, H.G. dos; Jacomine, P.K.T.; Anjos, L.H.V. dos; Oliveira, V.Á. de; Oliveira, J.B. de; Coelho, M.R.; Lumbreras, J.F. & Cunha, T.J.F. (2006). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2.^o ed. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 306 p.
- Sediyaama, T.; Matsuo, E.; Oliveira, R.C.T. & Glasenapp, J.S. (2015) – Características agrônômicas de cultivares. In: Sediyaama, T. (Ed.) – *Melhoramento genético da soja*. Mecenas, Londrina, p. 73-82.
- Silva, A.F.; Sediyaama, T. & Borém, A. (2015) – Exigências edafoclimáticas. In: Sediyaama, T.; Silva, F. & Borém, A. (Ed.) – *Soja do plantio à colheita*. UFV, Viçosa, p. 54-65.
- Souza, V.Q.; Bellé, R.; Ferrari, M.; Pelegrin, A.J.; Caron, B.O.; Nardino, M.; Follmann, D.N. & Carvalho, I.R. (2015) – Componentes de rendimento em combinações de fungicidas e inseticidas e análise de trilha em soja. *Global Science and Technology*, vol. 8, n. 1, p. 167-176. <http://dx.doi.org/10.14688/1984-3801/gst.v8n1p167-176>
- Teodoro, P.E.; Ribeiro, L.P.; Corrêa, C.C.G.; Luz Júnior, R.A.A.; Zanuncio, A.S.; Capristo, D.P. & Torres, F.E. (2015) – Path analysis in soybean genotypes as function of growth habit. *Bioscience Journal*, vol. 31, n. 3, p. 794-799. <http://dx.doi.org/10.14393/BJ-v31n1a2015-26094>