

ANÁLISE DE TRILHA EM CARACTERES MORFOLÓGICOS E PRODUTIVOS DE CULTIVARES DE SOJA EM DIFERENTES CICLOS

ROCHA, Victor Hugo Mesquita¹
MACHADO JUNIOR, Ronaldo²
RIBEIRO, Pedro César de Oliveira²
MATSUO, Eder³

Recebido em: 2020.06.04

Aprovado em: 2020.10.26

ISSUE DOI: 10.3738/1982.2278.3804

RESUMO: A análise de trilha é uma ferramenta utilizada em programas de melhoramento genético de soja com o intuito de compreender melhor as causas envolvidas nas associações entre os caracteres, decompondo as correlações em efeitos diretos e indiretos. Diante disto, objetivou-se avaliar por meio da análise de trilha a influência de caracteres agronômicos sobre a produtividade em cultivares comerciais de soja de diferentes ciclos. O ensaio experimental foi conduzido em condições de campo, em Latossolo Vermelho Distroférrico, no município de Serra do Salitre-MG. Utilizou-se nove cultivares, divididas entre ciclo precoce (SYN1163IPRO, CD2687RR e P95R21RR), médio (SYN1080RR, CD2728IPRO e P97Y07RR) e tardio (SYN13870IPRO, CD237RR e P98Y30RR). Avaliou-se a produtividade de grãos e os caracteres agronômicos: altura de planta, altura da inserção da primeira vagem, número de nós produtivos, número de vagens por planta e número de grãos por planta. Procedeu-se inicialmente a análise de multicolinearidade, seguido da análise de trilha adotando o procedimento de regressão em crista. Para as cultivares SYN1163IPRO, CD2687RR, P95R21RR, SYN1080RR e P97Y07RR o número de vagens por planta e número de grãos por planta foram os caracteres que mais influenciam a produtividade da soja; enquanto para as cultivares CD237RR e P98Y30RR a altura de plantas e altura da primeira vagem, respectivamente, foram os de maiores efeitos sobre a produtividade da soja.

Palavras-Chave: *Glycine max*; Biometria, Melhoramento genético.

PATH ANALYSIS OF MORPHOLOGICAL AND PRODUCTIVE CHARACTERISTICS OF SOYBEAN CULTIVARS FROM DIFFERENT CYCLES

SUMMARY: Path analysis is a tool used in soybean breeding programs to better understand how characters between characters, decomposing as correlations in direct and indirect effects. Given this, it is possible to evaluate by path analysis the influence of agronomic characters on research in commercial soybean cultivars of different cycles. The experiment was conducted in Serra do Salitre City, Minas Gerais State. Nine cultivars are divided into early (SYN1163IPRO, CD2687RR and P95R21RR), medium (SYN1080RR, CD2728IPRO and P97Y07RR) and late (SYN13870IPRO, CD237RR, and P98Y30RR) cycles. Were evaluated the grain productivity and agronomic characters: plant height, first lane insertion height, number of nodes produced, number of lanes per plant, and number of grains per plant. The multicollinearity analysis was initially performed, followed by the path analysis, adopting the crest regression procedure. To the SYN1163IPRO, CD2687RR, P95R21RR, SYN1080RR, and P97Y07RR cultivars the number of pods per plant and the number of grains per plant, or the ones that most influence soybean use. For cultivar CD237RR and P98Y30RR plant height and first pot height were the major effects on soybean percentage, respectively.

Keywords: *Glycine max*; Biometric. Breeding.

INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] tem exercido papel importante no agronegócio mundial, apresentando considerável expansão em produtividade e produção no decorrer dos anos, sendo

¹ Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa - Campus de Rio Paranaíba.

² Doutorando em Genética e Melhoramento, Universidade Federal de Viçosa - Campus Viçosa

³ ORCID iD - <https://orcid.org/0000-0002-2643-9367> Laboratório de Bioestatística, Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas, Campus de Rio Paranaíba, Universidade Federal de Viçosa

considerada uma *commodity* nacional, tornando o país o segundo maior produtor da cultura (FOLLMAN *et al.*, 2017). Esta oleaginosa apresenta composição com cerca de 40% de proteínas e 20% de óleo, em que devido a essas propriedades seus grãos podem ser empregados de várias formas, na alimentação humana, animal e especialmente para produção de óleo de cozinha e biodiesel (LAZZAROTTO; HIRAKURI, 2010; BEZERRA *et al.*, 2015).

O Brasil e Argentina, juntos, produzem e comercializam no mercado internacional mais soja que o principal produtor, os Estados Unidos (SANTOS *et al.*, 2016). Ao considerar a produtividade da cultura soja, segundo Bezerra *et al.* (2015), o Brasil lidera no ranking há alguns anos, com produtividade média de 2.960 kg/ha, enquanto que os Estados Unidos e Argentina produziram, respectivamente, 2.660 kg/ha e 2.280 kg/ha, em média (BEZERRA *et al.*, 2015). Parte deste sucesso deve-se aos programas de melhoramento genético de várias instituições de pesquisa e universidades brasileiras (ODA *et al.*, 2015).

O melhoramento de plantas tem sido uma ferramenta importante, não apenas para o desenvolvimento de cultivares com bom desempenho agrônomico e obtenção de ganhos genéticos, como também na eliminação de fatores restritivos à produtividade, como resistência a fatores bióticos e abióticos. Entretanto, para a obtenção de genótipos superiores, é necessário reunir em um único genótipo uma série de caracteres favoráveis que confirmam produtividade de grãos mais elevada e satisfaçam as exigências do mercado.

Dentre as diversas ferramentas que podem ser utilizadas no melhoramento genético, destacam-se as análises dos coeficientes de correlação. Cruz *et al.* (2014) reportam que apesar de serem de grande utilidade a quantificação da magnitude e direção das influências de fatores na determinação de caracteres complexos, não dão exata importância relativa dos efeitos diretos e indiretos destes fatores. Com o intuito de entender melhor as causas envolvidas nas associações entre caracteres, Wright (1921) propôs uma metodologia denominada de análise de trilha que desdobra as correlações estimadas em efeitos diretos e indiretos de caracteres sobre uma variável principal.

Em análise de dados deve-se atentar, em certos procedimentos biométricos, à existência de multicolinearidade entre os caracteres estudados, isto é, quando as variáveis estão correlacionadas entre si (CRUZ *et al.*, 2014). Problemas de multicolinearidade podem torna a matriz $X'X$ em singular, fazendo com que as estimativas de mínimos quadrados estejam viesadas, sendo que nestes casos há duas alternativas recomendadas: eliminar as variáveis que estejam provocando problemas ou realizar a análise com o grupo maior (sem a exclusão de variáveis) (CRUZ *et al.*, 2014). Assim, realizar a análise de trilha com todas as variáveis consiste na adoção

do procedimento equivalente ao da análise de regressão em crista, tal como preconizado por Carvalho; Cruz (1996).

A utilização da regressão em crista foi proposta por Hoerl; Kennard (1970a, 1970b) para as situações de quase singularidade da matriz $X'X$, provocada por efeitos de multicolinearidade, originando estimativas instáveis dos parâmetros. De acordo com os autores, o método se baseia em obter estimativas de coeficientes de regressão a partir das equações normais principalmente modificadas; essas modificações são originadas pela adição, nos elementos diagonais da matriz $X'X$, de um valor arbitrário k , de pequena magnitude.

No melhoramento genético da soja tem-se como um dos objetivos identificar indivíduos com maior produtividade, com isto, estudar caracteres que influenciam positivamente a produtividade são fundamentais para estabelecimentos de critérios para seleção plantas. Neste contexto, vários estudos, nos quais utilizaram a análise de trilha, foram conduzidos para entender esta relação complexa entre os caracteres da soja (ALCÂNTARA NETO *et al.*, 2011; RIGON *et al.*, 2012; NOGUEIRA *et al.*, 2012; PERINI *et al.*, 2012; FOLLMAN *et al.*, 2017; ZUFFO *et al.*, 2018; NAOE *et al.*, 2019; DEL CONTE *et al.*, 2020)

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência, por meio da análise de trilha, de caracteres agronômicos sobre a produtividade em cultivares de soja de diferentes ciclos.

MATERIAL E MÉTODO

O ensaio foi instalado e conduzido, em condições de campo no município de Serra do Salitre – MG (19°07'14" S, 46°41'42,6" O e 1.220 m). O clima regional é do tipo Cwb (Köppen), com verões amenos e invernos secos (Alvares *et al.*, 2013). Utilizou-se sementes de 9 cultivares divididas entre ciclo precoce (SYN1163IPRO, CD2687RR e P95R21RR), médio (SYN1080RR, CD2728IPRO e P97Y07RR) e tardio (SYN13870IPRO, CD237RR e P98Y30RR). O solo é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico, típico de textura argilosa. A área foi preparada considerando o sistema de preparo convencional solo, com adubação na linha de semeadura (15 kg/ha de N, 80 kg/ha de P e 20 kg/ha de K). Os tratos culturais e manejo da cultura foram realizados de acordo com as recomendações para o cultivo de soja, visando o ótimo desenvolvimento das plantas (SEDIYAMA *et al.*, 2015).

Para cada cultivar procedeu-se avaliação em cinco repetições, cuja área útil da parcela foi constituída de 10 m² cada uma. Foram mensurados a produtividade (PROD), em kg/ha, obtida por meio da colheita de todas as plantas da área útil, e para os demais componentes de produção, foram coletadas oito plantas de forma aleatória por parcela e levadas ao laboratório a serem mensuradas, conforme descrito abaixo:

- i) Altura de planta (AP): com o auxílio da trena foi medida a altura de planta da superfície do solo até o ápice, em metros (m).
- ii) Altura de inserção da primeira vagem (APV): medido da superfície do solo até o primeiro nó com vagem, em metros (m).
- iii) Número de nós produtivos (NNP): contagem direta de nós com vagem.
- iv) Número de vagens (NVP): realizada a contagem direta do número de vagens na planta.
- v) Número de grãos (NGP): as vagens foram separadas e trilhadas para contagem de grãos.

Os dados obtidos separadamente para cada cultivar foram submetidos a análise de trilha, considerando a PROD como variável básica e os caracteres AP, APV, NNP, NVP e NGP foram considerados como variáveis explicativas. Para o diagnóstico de multicolinearidade considerou-se o critério de número de condições (razão entre o maior e o menor autovalor da matriz) proposto por Montgomery; Peck (1981). Na ocorrência de multicolinearidade moderada à severa, adotou-se o procedimento de análise de regressão em crista, tal como preconizado por Carvalho; Cruz (1996). A identificação de possíveis critérios de seleção indireta para a produtividade foi realizada com base no método de Board *et al.* (1997): a) as características mais desejáveis são as que se correlacionam positivamente com produtividade e que apresentam efeitos diretos positivos e altos sobre essa característica; b) as características com efeitos diretos positivos moderados sobre produtividade (sem necessariamente serem correlacionadas positivamente) podem também servir como critérios de seleção; c) as características devem ter, preferencialmente, efeitos indiretos negativos mínimos sobre produtividade, através dos outros caracteres avaliados. As análises foram realizadas no Programa Genes (CRUZ, 2013).

RESULTADO E DISCUSSÃO

O diagnóstico de multicolinearidade indicou colinearidade severa ($NC > 1000$) para todas as matrizes. De acordo com Moreira *et al.* (2013), a análise de trilha em crista é um método eficiente para contornar o efeito da multicolinearidade e tem a vantagem de incluir e analisar todas as variáveis possibilitando a realização de apenas uma análise. Assim, neste trabalho, adotou-se a metodologia de análise de trilha em crista contornando os efeitos adversos causados pela multicolinearidade.

A variável que apresentou maior efeito direto sobre a produtividade nas cultivares precoces SYN1163IPRO e P95R21RR foi NGP (Tabela 1). Enquanto, para a CD2687RR, este caractere apresentou o segundo maior efeito direto, sendo que ao considerar os efeitos indiretos do NGP, via NNP e NVP, o efeito total sobre a produtividade foi na magnitude de 0,8949.

Ressalta-se que para a CD2687RR outro caractere a ser considerado é o NVP (Tabela 1). Demonstrando que estes caracteres têm uma relação direta com produtividade, sendo assim quanto maior o número de grãos por planta maior a produtividade (SILVA *et al.*, 2018).

Tabela 1. Estimativas dos efeitos diretos e indiretos dos caracteres primários ¹ (AP, APV, NNP, NVP e NGP) sobre a produtividade (PROD) em três cultivares de ciclo precoces (SYN1163IPRO, CD2687 RR e P95R21 RR) cultivados em condições de campo, no ano agrícola 2014/2015

(Continua)					
SYN1163IPRO					
	AP	APV	NNP	NVP	NGP
Efeito direto sobre PROD	0,2939	0,4302	-0,3096	0,0777	0,9858
Efeito indireto via AP	-	-0,2514	-0,2493	0,1435	-0,2387
Efeito indireto via APV	-0,3681	-	0,3281	-0,2984	0,2058
Efeito indireto via NNP	0,2627	-0,2362	-	0,2515	-0,2417
Efeito indireto via NVP	0,0380	-0,0539	-0,0631	-	-0,0238
Efeito indireto via NGP	-0,8007	0,4716	0,7696	-0,3018	-
TOTAL	-0,5742	0,3603	0,4756	-0,1274	0,6874
Coeficiente de determinação	0,6262				
Valor de K	0,0888				
Efeito da variável residual	0,6114				
CD2687 RR					
	AP	APV	NNP	NVP	NGP
Efeito direto sobre PROD	-0,3723	0,0340	0,5379	0,3785	0,4327
Efeito indireto via AP	-	-0,0275	-0,2999	-0,2712	-0,2615
Efeito indireto via APV	0,0025	-	-0,0107	-0,0097	-0,0116
Efeito indireto via NNP	0,4333	-0,1687	-	0,3523	0,3576
Efeito indireto via NVP	0,2757	-0,1083	0,2479	-	0,3777
Efeito indireto via NGP	0,3039	-0,1480	0,2877	0,4318	-
TOTAL	0,6431	-0,4186	0,7629	0,8817	0,8949
Coeficiente de determinação	0,9263				
Valor de K	0,0640				
Efeito da variável residual	0,2715				
P95R21RR					

Tabela 1. Estimativas dos efeitos diretos e indiretos dos caracteres primários ¹ (AP, APV, NNP, NVP e NGP) sobre a produtividade (PROD) em três cultivares de ciclo precoces (SYN1163IPRO, CD2687 RR e P95R21 RR) cultivados em condições de campo, no ano agrícola 2014/2015
(Conclusão)

	AP	APV	NNP	NVP	NGP
Efeito direto sobre PROD	-0,6812	-0,6323	-0,8448	-0,1724	0,9850
Efeito indireto via AP	-	-0,0703	0,2698	0,0328	0,0187
Efeito indireto via APV	-0,0653	-	0,5352	0,0156	0,0615
Efeito indireto via NNP	0,3346	0,7151	-	-0,3507	-0,3631
Efeito indireto via NVP	0,0083	0,0042	-0,0716	-	-0,1698
Efeito indireto via NGP	-0,0271	-0,0958	0,4233	0,9700	-
TOTAL	-0,4306	-0,0791	0,3119	0,4953	0,5324
Coefficiente de determinação	0,6692				
Valor de K	0,0583				
Efeito da variável residual	0,5752				

¹Caracteres primários: AP = Altura de plantas; APV = Altura da primeira vagem; NNP = Número de nós produtivos; NVP = Número de vagens por planta; e NGP = Número de grãos por planta.

Para a cultivar SYN1080RR (ciclo médio) os caracteres com efeito direto positivo para com a PROD foi o NVP e NGP com magnitudes de valores iguais à 0,3623 e 0,3092, respectivamente, e estes caracteres proporcionaram incremento da PROD de maneira indireta uma para com a outra. Resultado corrobora com os trabalhos de Zuffo *et al.* (2018) e Nogueira *et al.* (2012), no qual, identificaram que o número de vagens por planta e número de grãos por vagem possuem maior efeito direto sobre a produtividade de grãos. Na variedade P97Y07RR o NVP foi o caractere que apresentou maior efeito direto sobre a produtividade, com magnitude igual a 0,6824 (Tabela 2). O resultado encontrado enfatiza que genótipos de soja com maior número de vagens está correlacionado à maior produtividade, evidenciando que esta característica pode ser utilizada na seleção direta para produtividade de grãos de soja (SILVA *et al.*, 2018).

Tabela 2. Estimativas dos efeitos diretos e indiretos dos caracteres primários¹ (AP, APV, NNP, NVP e NGP) sobre a produtividade (PROD) em três cultivares de ciclo médio (SYN1080RR, CD2728 IPRO e P97Y07 RR) cultivados em condições de campo, no ano agrícola 2014/2015

(Continua)					
SYN1080RR					
	AP	APV	NNP	NVP	NGP
Efeito direto sobre PROD	-0,2614	-0,6259	-0,4874	0,3626	0,3092
Efeito indireto via AP	-	-0,2408	0,1613	-0,0337	-0,0505
Efeito indireto via APV	-0,5765		0,1788	-0,0727	-0,1178
Efeito indireto via NNP	0,3008	0,1392	-	-0,0400	-0,0323
Efeito indireto via NVP	0,0467	0,0421	0,0297	-	0,3617
Efeito indireto via NGP	0,0597	0,0582	0,0205	0,3084	-
TOTAL	-0,4307	-0,6271	-0,0971	0,5247	0,4703
Coeficiente de determinação	0,9420				
Valor de K	0,0583				
Efeito da variável residual	0,2408				
CD2728RR					
	AP	APV	NNP	NVP	NGP
Efeito direto sobre PROD	0,4298	-0,9380	0,2452	-0,4293	0,3947
Efeito indireto via AP	-	0,1014	0,1329	0,1702	0,1143
Efeito indireto via APV	-0,2213	-	-0,6201	0,2772	-0,1236
Efeito indireto via NNP	0,0758	0,1621	-	-0,1779	-0,1339
Efeito indireto via NVP	-0,1700	0,1269	0,3114	-	-0,3525
Efeito indireto via NGP	0,1050	0,0520	-0,2156	0,3241	-
TOTAL	0,2193	-0,4956	-0,1461	0,1642	-0,1010
Coeficiente de determinação	0,5737				
Valor de K	0,1098				
Efeito da variável residual	0,6529				
P95R21RR					

Tabela 2. Estimativas dos efeitos diretos e indiretos dos caracteres primários¹ (AP, APV, NNP, NVP e NGP) sobre a produtividade (PROD) em três cultivares de ciclo médio (SYN1080RR, CD2728 IPRO e P97Y07 RR) cultivados em condições de campo, no ano agrícola 2014/2015
(Conclusão)

	AP	APV	NNP	NVP	NGP
Efeito direto sobre PROD	0,2534	0,2265	-0,0606	0,6824	-0,8437
Efeito indireto via AP	-	-0,0087	0,1787	-0,1587	0,0509
Efeito indireto via APV	-0,0078	-	-0,0115	0,1434	0,1698
Efeito indireto via NNP	-0,0427	0,0031	-	0,0176	-0,0016
Efeito indireto via NVP	-0,4273	0,4321	-0,1979	-	0,0343
Efeito indireto via NGP	-0,1694	-0,6325	-0,0224	-0,0424	-
TOTAL	-0,3938	0,0204	-0,1136	0,6423	-0,5903
Coefficiente de determinação	0,9186				
Valor de K	0,0545				
Efeito da variável residual	0,2852				

¹Caracteres primários: AP = Altura de plantas; APV = Altura da primeira vagem; NNP = Número de nós produtivos; NVP = Número de vagens por planta; e NGP = Número de grãos por planta.

Portanto, a seleção de cultivares de soja de ciclo precoce e médio com maior número de grãos e vagens por plantas resultará na seleção direta de genótipos com maior produtividade, tais relatos também foram reportados por Alcântara Neto *et al.* (2011), Nogueira *et al.* (2012), Silva *et al.* (2018) e Zuffo *et al.* (2018).

O componente APV, na maioria das cultivares de ciclo precoce e médio, apresentou baixa estimativa de efeito direto sobre a produtividade, indicando baixa relação causa e efeito sobre as variáveis estudadas, resultados semelhantes foram relatados por Almeida *et al.* (2010), Silva *et al.* (2018) e Alcântara Neto *et al.* (2011).

Em análise dos efeitos diretos e indiretos dos caracteres mensurados nas cultivares de ciclo tardio (Tabela 3), sobre a PROD, observou-se que a APV foi a de maior efeito direto nas SYN13870IPRO e P98Y30RR (0,6912 e 0,3517, respectivamente), inclusive com as maiores magnitudes de efeitos totais (0,3122 e 0,4871, respectivamente). Follman *et al.* (2017) avaliaram 18 cultivares de soja em três locais distintos e, com base nas matrizes de correlação fenotípica e genotípica e nas análises de trilha, concluíram que a altura de planta foi o caractere que apresentou maior associação linear positiva com a produtividade, podendo ser utilizado para a seleção indireta de plantas mais produtivas. Estudos indicam que plantas de ciclo tardio crescem mais, fato que ocorre devido ao prolongamento do período vegetativo,

fazendo com que a planta tenha um maior acúmulo de reservas, permitindo o desenvolvimento de maior número de axilas e ramificações, onde as vagens se desenvolvem, resultando em maiores produtividades (SILVA *et al.*, 2018).

Tabela 3. Estimativas dos efeitos diretos e indiretos dos caracteres primários¹ (AP, APV, NNP, NVP e NGP) sobre a produtividade (PROD) em três cultivares de ciclo tardio (SYN13870IPRO, CD237RR e P98Y30RR) cultivados em condições de campo, no ano agrícola 2014/2015

(Continua)					
SYN13870IPRO					
	AP	APV	NNP	NVP	NGP
Efeito direto sobre PROD	0,1869	0,6912	0,2011	0,1868	0,2043
Efeito indireto via AP	-	-0,1042	-0,0494	0,0685	0,1022
Efeito indireto via APV	-0,3856	-	-0,3691	-0,2887	-0,3023
Efeito indireto via NNP	-0,0532	-0,1074	-	0,0624	0,0299
Efeito indireto via NVP	0,0685	-0,0780	0,0580	-	0,1823
Efeito indireto via NGP	0,1117	-0,0893	0,0304	0,1993	-
TOTAL	-0,0717	0,3122	-0,1290	0,2283	0,2164
Coeficiente de determinação	0,4332				
Valor de K	0,2699				
Efeito da variável residual	0,7528				
CD2687RR					
	AP	APV	NNP	NVP	NGP
Efeito direto sobre PROD	0,6703	-0,8986	0,7014	0,4306	0,1661
Efeito indireto via AP	-	-0,3521	-0,3045	-0,4402	-0,4825
Efeito indireto via APV	0,4720	-	-0,3643	-0,4642	-0,4773
Efeito indireto via NNP	-0,3186	0,2844	-	-0,0189	-0,0111
Efeito indireto via NVP	-0,2827	0,2224	-0,0116	-	0,4281
Efeito indireto via NGP	-0,1196	0,0882	-0,0026	0,1652	-
TOTAL	0,4214	-0,6557	0,0184	-0,3276	-0,3767
Coeficiente de determinação	0,8177				
Valor de K	0,0697				
Efeito da variável residual	0,4269				
P95R21RR					

Tabela 3. Estimativas dos efeitos diretos e indiretos dos caracteres primários¹ (AP, APV, NNP, NVP e NGP) sobre a produtividade (PROD) em três cultivares de ciclo tardio (SYN13870IPRO, CD237RR e P98Y30RR) cultivados em condições de campo, no ano agrícola 2014/2015

(Conclusão)

	AP	APV	NNP	NVP	NGP
Efeito direto sobre PROD	-0,4130	0,3517	-0,4280	-0,4277	-0,0116
Efeito indireto via AP	-	-0,0305	-0,0919	-0,1244	0,0475
Efeito indireto via APV	0,0260	-	-0,1697	0,0297	0,1320
Efeito indireto via NNP	-0,0953	0,2065	-	0,0358	0,2673
Efeito indireto via NVP	-0,1288	-0,0362	0,0357	-	-0,3375
Efeito indireto via NGP	0,0013	-0,0043	0,0072	-0,0091	-
TOTAL	-0,6098	0,4871	-0,6466	-0,4958	0,0977
Coeficiente de determinação	0,9543				
Valor de K	0,0659				
Efeito da variável residual	0,2137				

¹Caracteres primários: AP = Altura de plantas; APV = Altura da primeira vagem; NNP = Número de nós produtivos; NVP = Número de vagens por planta; e NGP = Número de grãos por planta.

Para a variedade CD237RR o NNP foi o de maior efeito direto (0,7014), mas considerando o efeito total torna-se de baixa magnitude (0,0184) em função do elevado efeito indireto negativo via AP e APV. Neste caso, para esta cultivar, o melhor caractere, visando aumento da produtividade, é a AP, com efeito direto e total, igual à 0,6703 e 0,4214, respectivamente, com efeito residual na magnitude de 0,4269. O erro residual, nas análises de trilhas das cultivares CD2728IPRO (Tabela 2) e SYN13870IPRO (Tabela 3), foi superior ao do coeficiente de determinação, indicando assim, que as características independentes influenciaram pouco a PROD.

O NVP, independente do ciclo de desenvolvimento da cultivar apresenta efeito favorável sobre a produtividade de grãos em soja, trabalhos realizados por Dalchiavon; Carvalho (2012) e Nogueira *et al.* (2012) reportaram que o número de vagens por planta e a massa de grãos por planta são bons indicadores da produtividade de grãos de soja. Os autores supracitados sugeriram a importância de práticas agrícolas corretas que visem elevar os valores destes componentes de produção, uma vez que há evidenciadas de relações diretas com a produtividade de grãos de soja. O número de vagens por planta e massa de mil grãos

devem receber maior ênfase na seleção de linhagens de soja com alto rendimento (ARSHAD *et al.*, 2006), sendo que o número de grãos por planta está diretamente relacionado com a máxima produtividade em soja (PERINI *et al.*, 2012).

Então, pode-se considerar útil na seleção de plantas para maior produtividade, as que apresentaram maior número de grãos por planta para as cultivares precoces e maior número de vagens para as de ciclo médio (SYN1080RR e P97Y07RR), enquanto que, para as de ciclo tardio, os caracteres altura de plantas (CD237RR) e altura da primeira vagem (P98Y30RR) são os que devem ser considerados. Diante disto, foi possível identificar a tendência do número de vagens e de grãos por planta terem efeitos diretos e indiretos sobre a produtividade, principalmente nas cultivares de ciclo precoce e médio. Portanto, são caracteres importantes na seleção de plantas em programa de melhoramento genético da soja.

CONCLUSÃO

Para as cultivares SYN1163IPRO, CD2687RR, P95R21RR, SYN1080RR e P97Y70RR o número de vagens por planta e número de grãos por planta foram os caracteres que mais influenciam a produtividade da soja.

Para as cultivares CD237RR e P98Y30RR a altura de plantas e altura da primeira vagem, respectivamente, foram os de maiores efeitos sobre a produtividade da soja.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, CNPq, FAPEMIG, à Empresa Montesa Agronegócios, à Fazenda Regina, ao Carlos Alberto da Silva da Montesa Agronegócios e ao Rodrigo de Oliveira Lima da SNP Consultoria pelo apoio na realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA NETO, F.; GRAVINA, G.A.; MONTEIRO, M.M.S.; MORAIS, F.B.; PETTER, F.A.; ALBUQUERQUE, J.A.A. Análise de trilha do rendimento de grãos de soja na microrregião do Alto Médio Gurguéia. **Comunicata Scientiae**, v.2, n.2, p.107-112, 2011. Disponível em: <https://www.comunicatascientiae.com.br/comunicata/article/view/74/70>

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p. 711-728, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

ARSHAD, M.; ALI, N.; GHAFOR, A. character correlation and path coefficient in soybean *Glycine max* (L.) Merrill. **Pakistan Journal of Botany**, v.38, n.1, p.121-130, 2006.

BEZERRA, A.R.G.; SEDIYAMA, T.; BORÉM, A.; SOARES, M.M. Importância Econômica. In: SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A (Eds.), **Soja: do plantio à colheita**. Viçosa: UFV p. 9-26, 2015.

BOARD, J.E.; KANG, M.S.; HARVILLE, B.G. Path analysis identify indirect selection criteria for yield of late planted soybean. **Crop Science**, v.37, n.3, p.879-884,1997. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1997.0011183X003700030030x>

CARVALHO, S.P.; CRUZ, C.D. Diagnosis of multicollinearity: assessment of the condition of correlation matrices used in genetic studies. **Revista Brasileira de Genética**, v.19, n.3, p. 479-484, 1996.

CRUZ, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.35, n.3, p.271-276, 2013. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251>

CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3, rev. ed. Viçosa: UFV, 2014.

DALCHIAVON, F.C.; CARVALHO, M.P. Correlação linear e espacial dos componentes de produção e produtividade da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.33, n.2, p.541-552, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n2p541>

DEL CONTE, M.V.; CARNEIRO, P.C.S.; RESENDE, M.D.V.; SILVA, F.L.; PETERNELLI, L.A. Overcoming collinearity in path analysis of soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] grain oil content. **PLoS ONE**, v. 15, n. 5, e0233290, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233290>

FOLLMANN, D.N.; CARGNELUTTI FILHO, A.; SOUZA, V.Q.; NARDINO, M.; CARVALHO, I.R.; DEMARI, G.H.; FERRARI, M.; PELEGRIN, A.; SZARESKI, V.J. Relações lineares entre caracteres de soja safrinha. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n.1, p. 213-221. 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.19084/RCA16027>

HOERL., A.E.; KENNARD, R.W. Ridge regression: applications to nonorthogonal problems. **Technometrics**, v.12, n.1, p.69-82, 1970a. DOI: <https://dx.doi.org/10.1080/00401706.1970.10488635>

HOERL., A.E.; KENNARD, R.W. Ridge regression: biased estimation for nonorthogonal problemas. **Technometrics**, v.12, n.1, p.55-68, 1970b. DOI: <https://dx.doi.org/10.1080/00401706.1970.10488634>

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

MOREIRA, S.O.; GONÇALVES, L.S.A.; RODRIGUES, R.; SUDRÉ, C.P.; AMARAL JR., A.T.; MEDEIROS, A.M. Correlações e análise de trilha sob multicolinearidade em linhas recombinadas de pimenta (*Capsicum annuum* L.). **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.8, n.1, p.15-20, 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.5039/agraria.v8i1a1726>

NOGUEIRA, A.P.O.; SEDIYAMA, T.; SOUSA, L.B.; 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, n.6, p.877-888, 2012. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/14576>.

ODA, M.C.; SEDIYAMA, T.; MATSUO, É.; CRUZ, C.D.; BARROS, E.G.; FERREIRA, M.F.S. Phenotypic and molecular traits diversity in soybean launched in forty years of genetic improvement. **Agronomy Science and Biotechnology**, v.1, n.1, p.1-9, 2015. DOI: <https://doi.org/10.33158/ASB.2015v1i1p1>

NAOE, A.M.L; PELUZIO, J.M.; NAOE, L.K.; CAMPOS, L.M.C.; OLIVEIRA JÚNIOR, W.P. Path analysis in soybean under drought stress and co-inoculated with *Azospirillum brasilense*. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 3, p. 311-319, 2019, DOI: <https://doi.org/10.5539/jas.v11n3p311>.

PERINI, L.J.; FONSECA JR., 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, s.1, p.2531-2544, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33Supl1p2531>

RIGON, J.P.G.; CAPUANI, S.; BRITO NETO, J.F.; ROSA, G.M.; 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, n.2, p.233-240, 2012. Disponível em: <http://www.ceres.ufv.br/pt/documento/obter/273>

SANTOS, M.G.P.; SILVA, A.F.; SEDIYAMA, T.; SOARES, M.M. Evolução da produção e da produtividade da soja. In: SEDIYAMA, T. (Ed.) **Produtividade da soja**. Londrina: Editora Mecenias, 2015, p.19-29.

SILVA, A.V.; SILVA, C.M.; PAVAN, B.E.; PESSOA, W.R.L.S.; MIELEZRSKI, F. Época de semeadura x grupos de maturação nos componentes de rendimentos de soja. **Cultura Agrônômica**, v.27, n.1, p.44-56, 2018. DOI: <https://doi.org/10.32929/2446-8355.2018v27n1p44-56>

WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, v.20, n.7, p.557-585, 1921.

ZUFFO, A.M.; RIBEIRO, A.B.M.; BRUZI, A.T.; ZAMBIAZZI, E.V.; FONSECA, W.L. Correlações e análise de trilha em cultivares de soja cultivadas em diferentes densidades de plantas. **Cultura Agrônômica**, v.27, n.1, p.78-90, 2018. DOI: <https://doi.org/10.32929/2446-8355.2018v27n1p78-90>