

Contribuição de caracteres agronômicos para a produtividade de grãos em pinhão-manso

Contribution of agronomic traits for grain yield in physic nut

Paulo Eduardo Teodoro^{1*}, Rhayanne Dias Costa², Rodrigo Barros Rocha³, Bruno Galvêas Laviola²

1. Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - Departamento de Fitotecnia - Aquidauana (MS), Brasil.

2. Embrapa Agroenergia - Laboratório de Genética e Biotecnologia - Brasília (DF), Brasil.

3. Embrapa Rondônia - Departamento de Genética e Melhoramento de Plantas - Porto Velho (RO), Brasil.

RESUMO: O conhecimento da associação entre os caracteres que compõem a produtividade é importante para a seleção de plantas superiores, principalmente para garantir que o ganho genético ocorra para os diversos caracteres favoráveis. No pinhão-manso, a produtividade de grãos é o principal alvo do programa de melhoramento, porém existem outros caracteres importantes que impactam na produção. Diante desse contexto, o objetivo deste trabalho foi estimar, por meio de análise de trilha, os efeitos diretos e indiretos de caracteres vegetativos sobre a produtividade de grãos de pinhão-manso. Aos 18 meses após o plantio, foram mensurados os caracteres altura de plantas, diâmetro do caule, número de ramos por planta, projeção da copa na linha, projeção da copa na entrelinha e produtividade de grãos. Foram estimadas as correlações fenotípicas entre os caracteres avaliados, sendo essas correlações desdobradas, por meio da análise de trilha, em efeitos diretos e indiretos, considerando-se o caráter produtividade de grãos como a variável dependente principal. Observou-se que 76% da variação em produtividade foi explicada pelas variáveis explicativas, valor este superior ao observado em outros estudos e adequado para explorar os ganhos com a seleção direta e indireta em pinhão-manso. Os caracteres diâmetro do caule, massa de cem sementes e projeção da copa na entrelinha influenciam diretamente a produtividade de grãos, sendo indicados para seleção direta, assim como para a seleção indireta de progênies superiores de pinhão-manso para produtividade de grãos.

Palavras-chave: análise de trilha, correlações, efeitos diretos e indiretos, *Jatropha curcas*.

ABSTRACT: The knowledge of the association between traits of production is important for selecting superior plants and mainly to ensure that the genetic gain occurs for many favorable traits. In physic nut, grain yield is the main goal of the breeding program, but there are other important traits that have an impact on production. On such background, the aim of this study was to estimate, using path analysis, direct and indirect effects of vegetative traits on the grain yield of physic nut. At 18 months after planting, the traits plant height, stem diameter, number of branches per plant, plant canopy projection on the line, plant canopy projection between rows and grain yield were measured. Phenotypic correlations among traits were estimated and unfolded in direct and indirect effects through path analysis, considering the grain yield as the main dependent variable. It was observed that 76% of the variation in yield was explained by the explanatory variables; this value is higher than those observed in other studies and appropriate to explore the gains from direct and indirect selection on physic nut. Stem diameter, weight of 100 seeds and canopy projection between rows directly influence the grain yield, being suitable for direct as well as indirect selection of physic nut superior progenies for grain yield.

Key words: path analysis, correlations, direct and indirect effects, *Jatropha curcas*.

*Autor correspondente: eduteodoro@hotmail.com

Recebido: 16 Jul. 2015 – Aceito: 12 Set. 2015

INTRODUÇÃO

A elevada demanda energética e a intensa poluição gerada por derivados petrolíferos têm estimulado em todo o mundo pesquisas por fontes energéticas renováveis e de menor impacto ambiental (Reis et al. 2015). Nesse contexto, o óleo de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) vem sendo apontado com fonte alternativa para a produção de biocombustíveis no Brasil (Durães et al. 2011; Laviola et al. 2014), devido às suas características físico-químicas favoráveis à produção de biodiesel e bioquerosene de aviação, com teores dos ácidos oleico e linoleico variando de 22 a 42% (Wani et al. 2012).

O pinhão-mansão é uma oleaginosa perene da família Euphorbiaceae, com produtividades potenciais de 1.200 a 1.500 kg·ha⁻¹ de óleo a partir do 4º ano (Laviola et al. 2014). Apesar de promissora, a carência por variedades geneticamente melhoradas, que garantam tamanha potencialidade, bem como a heterogeneidade dos materiais cultivados ainda fazem dessa espécie uma promessa ao plantio em larga escala (Dias et al. 2007). Por se tratar de uma oleaginosa perene de longo ciclo, o pinhão-mansão ainda é considerado uma espécie não domesticada, sendo importantes os estudos sobre seu germoplasma para a seleção de plantas e desenvolvimento de uma variedade comercial (Achten et al. 2010).

Um dos principais objetivos dos programas de melhoramento genético em pinhão-mansão é a seleção de plantas de maior potencial produtivo. Para que isso ocorra, é fundamental o conhecimento das correlações entre os caracteres agrônômicos, uma vez que estes podem impactar positivamente ou negativamente no progresso genético. As correlações podem ser de natureza fenotípica, genotípica ou ambiental, porém somente as associações de natureza genética possuem herdabilidade, podendo se expressar em diferentes ambientes (Lynch e Walsh 1998).

Contudo, Cruz e Regazzi (2004) enfatizam que, apesar de sua importância, as correlações não permitem identificar as relações de causa e efeito entre os caracteres. Nesse sentido, a análise de trilha, proposta por Wright (1921), permite melhor compreender a associação entre características agrônômicas, por meio do desdobramento dos coeficientes de correlação em seus efeitos diretos e indiretos sobre um caráter principal, utilizando-se equações de regressão das variáveis padronizadas (Corrar et al. 2007). Para a cultura do pinhão-mansão, existem poucos trabalhos que estudaram a associação entre os caracteres produtivos (Spinelli et al. 2010; Reis et al. 2015).

O objetivo deste trabalho foi estimar, por meio de análise de trilha, os efeitos diretos e indiretos de caracteres vegetativos sobre a produtividade de grãos em diferentes genótipos de pinhão-mansão.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado na área experimental da Embrapa Cerrados entre os anos de 2009 e 2013 no município de Planaltina, Distrito Federal. O município está situado a 15°35'30"S, 47°42'30"W e 1.007 m de altitude. O clima é tropical com inverno seco e verão chuvoso (Aw), segundo a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 21 °C, umidade relativa de 68% e precipitação pluviométrica média de 1.100 mm anuais.

Foram avaliadas 18 famílias de meios-irmãos (801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817 e 818) em delineamento de blocos ao acaso, com 3 repetições e 5 plantas, dispostas em linha, por parcela útil. Maiores detalhes sobre a genealogia das progênies foram discutidos por Laviola et al. (2014). O ensaio foi implantado com mudas de aproximadamente 60 dias de cultivo, utilizando-se espaçamento de 4 × 2 m. As práticas de manejo basearam-se em Dias et al. (2007), com adaptações de acordo com os resultados de pesquisa com pinhão-mansão no Brasil e no mundo (Bahadur et al. 2013; Carels et al. 2013; Resende et al. 2013).

Aos 18 meses após o plantio, foram mensurados os caracteres altura de plantas (AP, m), diâmetro do caule (DC, cm), número de ramos por planta (NRP), projeção da copa na linha (PCL, m), projeção da copa na entrelinha (PCE, m) e produtividade de grãos (PROD, kg/planta).

Para verificar a variabilidade genética entre as progênies, realizou-se análise de variância para cada caráter. Posteriormente, foram estimadas as correlações fenotípicas entre os caracteres. Essas correlações foram desdobradas, por meio da análise de trilha, em efeitos diretos e indiretos, considerando-se o seguinte modelo: $Y = p_1X_1 + p_2X_2 + \dots + p_nX_n + p_\epsilon u$, em que Y é a variável dependente principal produtividade de grãos; X_1, X_2, \dots, X_n são as variáveis independentes explicativas; p_1, p_2, \dots, p_n são os coeficientes da análise de trilha. O coeficiente de determinação foi calculado pela expressão $R^2 = p_{1y}^2 + p_{2y}^2 + \dots + 2p_{2y}p_{2n}r_{2n}$ (Wright 1921), onde r é o valor do coeficiente de correlação fenotípica das variáveis independentes explicativas.

O grau de multicolinearidade da matriz X'X foi estabelecido com base no seu número de condições (NC), que é a razão entre

o maior e o menor autovalor da matriz (Montgomery e Peck 2001). Se $NC < 100$, a multicolinearidade é denominada fraca e não constitui problema para análise; se $100 \leq NC \leq 1.000$, a multicolinearidade é considerada moderada a forte; e se $NC > 1.000$, o grau de multicolinearidade é determinado como severo. Todas as análises estatísticas foram realizadas com o aplicativo GENES (Cruz 2013) e fomentaram-se nos procedimentos preconizados por Cruz e Regazzi (2004).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observaram-se diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as progênies de pinhão-manso para todos os caracteres avaliados, permitindo inferir a existência de variabilidade genética entre os genótipos avaliados (Tabela 1). Resultados similares foram obtidos em outros trabalhos com a cultura do pinhão-manso (Laviola et al. 2012, 2014; Everson et al. 2013; Brasileiro et al. 2013; Wani et al. 2012).

Na Tabela 2, é possível verificar que as estimativas das correlações genotípicas (r_G) entre os caracteres AP \times DC, AP \times massa de cem sementes (MCS), AP \times PCE, AP \times PROD, DC \times MCS, DC \times NRP, DC \times PCE, DC \times PCL, DC \times PROD, MCS \times PCE, MCS \times PCL, MCS \times PROD, NRP \times PROD e PCE \times PCL apresentaram valores superiores às correspondentes estimativas das correlações fenotípicas (r_F), o que indica que a maior parte da expressão fenotípica é de natureza genética. As correlações ambientais (r_E) de maior magnitude em relação às r_G indicam haver maior influência ambiental na expressão do caráter, o que dificulta a seleção indireta (Cruz e Regazzi 2004)

Foram observadas estimativas de r_F positivas e significativas entre os caracteres AP \times DC, AP \times MCS e PCE \times PCL e r_F negativas e significativas entre os caracteres DC \times NRP (Tabela 2). As principais causas de correlação fenotípica entre

dois caracteres são o pleiotropismo, propriedade pela qual um gene condiciona mais de um caráter simultaneamente, e o desequilíbrio de ligação, associação não aleatória entre alelos de diferentes locos (Mode e Robinson 1959). Por outro lado, de acordo com esses autores, a seleção de um caráter pode acarretar uma seleção indesejável de outro.

Tabela 2. Estimativas de correlações fenotípicas, genotípicas e ambientais entre caracteres altura de plantas, diâmetro de caule, massa de cem sementes, número de ramos por planta, projeção da copa na entrelinha, projeção da copa na linha e produtividade de grãos avaliados aos 18 meses após o plantio de 18 progênies de meios-irmãos de pinhão-manso.

Caracteres	DC	MCS	NRP	PCE	PCL	PROD	
AP	r_F	0,43*	0,44*	-0,31	0,25	-0,11	0,31
	r_G	0,64*	0,65*	-0,49*	0,29	-0,17	0,32
	r_E	0,23	0,01	0,12	0,36	0,12	0,29
DC	r_F		0,16	-0,51*	0,38	0,38	0,38
	r_G		0,30	0,29	0,67*	0,61*	0,62*
	r_E		0,05	0,13	0,01	0,12	0,10
MCS	r_F			-0,47*	0,14	0,15	0,07
	r_G			-0,72*	0,21	0,22	0,12
	r_E			0,03	-0,07	0,08	-0,14
NRP	r_F				0,03	-0,03	0,09
	r_G				0,01	-0,07	0,14
	r_E				0,18	0,08	-0,13
PCE	r_F					0,84*	0,05
	r_G					0,93*	0,03
	r_E					0,37	0,25
PCL	r_F						-0,14
	r_G						-0,20
	r_E						0,28

*significativo pelo teste t a 5% de probabilidade com n - 2 graus de liberdade. r_F = correlações fenotípicas; r_G = correlações genotípicas; r_E = correlações ambientais; AP = altura de plantas; DC = diâmetro do caule; MCS = massa de cem sementes; NRP = número de ramos por planta; PCE = projeção da copa na entrelinha; PCL = projeção da copa na linha; PROD = produtividade de grãos.

Tabela 1. Resumo da análise de variância conjunta para os caracteres altura de plantas, diâmetro de caule, massa de cem sementes, número de ramos por planta, projeção da copa na entrelinha, projeção da copa na linha e produtividade de grãos em 18 progênies de meios-irmãos de pinhão-manso, avaliados aos 18 meses após o plantio.

Fontes de variação	GL	AP	DC	MCS	NRP	PCE	PCL	PROD
Blocos	2	0,11	417,72	28,50	7,97	01,3	0,06	4.114,39
Genótipos (G)	17	0,24*	100,75*	30,12*	8,07*	0,10*	0,43*	49.758,08*
Resíduo	34	0,06	120,09	9,83	4,39	0,05	0,13	10.285,00
CV (%)	-	8,72	8,32	4,51	16,30	11,75	27,45	30,15

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. GL = graus de liberdade; AP = altura de plantas; DC = diâmetro do caule; MCS = massa de cem sementes; NRP = número de ramos por planta; PCE = projeção da copa na entrelinha; PCL = projeção da copa na linha; PROD = produtividade de grãos; CV = coeficiente de variação.

Assim, apesar de importante, o coeficiente de correlação fenotípica pode produzir equívocos a respeito da relação que há entre dois caracteres, podendo não ser uma medida real de causa e efeito. Um alto ou baixo coeficiente de correlação entre dois caracteres pode ser o resultado do efeito que um terceiro caráter ou um grupo de caracteres têm sobre o par, não dando a exata importância relativa dos efeitos diretos e indiretos desses fatores (Cruz e Regazzi 2004). Por isso, procedeu-se à análise de trilha, que investiga a relação de causa e efeito. Teodoro et al. (2014) mencionaram que essa análise proporciona um conhecimento detalhado das influências dos caracteres envolvidos e justificam a existência de correlações positivas e negativas, de alta e baixa magnitude, entre os caracteres estudados.

Contudo, para a obtenção dos efeitos diretos e indiretos da análise de trilha, é necessário que a matriz $X'X$ seja bem condicionada. Em presença de multicolinearidade, as variâncias associadas aos estimadores dos coeficientes de trilha podem atingir valores excessivamente altos, tornando-se pouco confiáveis. Além disso, as estimativas dos parâmetros podem assumir valores absurdos ou sem nenhuma coerência com o fenômeno biológico estudado (Cruz e Regazzi 2004). De acordo com o critério apresentado por Montgomery e Peck (2001), a matriz das estimativas de correlações fenotípicas apresentou uma multicolinearidade fraca, pois o número de condição foi igual a 14. Dessa forma, não sendo detectada a multicolinearidade, foram utilizados todos os caracteres avaliados na análise de trilha (Tabela 3).

No melhoramento, é importante identificar as variáveis de maior efeito direto em sentido favorável à seleção, de tal

forma que a resposta correlacionada por meio da seleção indireta seja eficiente. Assim, observa-se na Tabela 3 que os caracteres DC, MCS e PCE são os mais importantes por apresentarem os maiores efeitos diretos (0,75; 0,52 e 0,82, respectivamente) sobre a variável dependente principal (PROD), indicando a presença de causa e efeito. Além disso, esses caracteres exercem efeitos indiretos uns sobre os outros, podendo ser utilizados tanto para a seleção direta quanto para a seleção indireta de progênies de pinhão-manso com maior PROD. Esses resultados estão em consonância com os observados por Spinelli et al. (2010) e Reis et al. (2015), que verificaram efeito direto positivo dos caracteres DC e PCE sobre a PROD.

A AP apresentou efeito direto alto e negativo (-0,52) sobre a PROD (Tabela 3), divergindo dos resultados obtidos por Spinelli et al. (2010) e Reis et al. (2015), que observaram efeito direto próximo a zero desse caráter sobre a PROD. Segundo Heller (1996), essa oleaginosa pode ultrapassar os 5 m de altura, o que dificulta a colheita. Portanto, o resultado obtido é um forte indício para se buscarem genótipos com porte reduzido.

O coeficiente de determinação (Tabela 3) indica que 76% da variável dependente (PROD) pode ser explicada pelo efeito das variáveis explicativas, sendo esse valor superior aos observados por Spinelli et al. (2010) e Reis et al. (2015). Entretanto, deve-se considerar que a PROD é um caráter de herança complexa, governado por genes quantitativos, sendo fortemente influenciada pelas características edafoclimáticas. Sob esse aspecto, o efeito da variável residual (Tabela 3), apesar de relativamente baixo (0,36), sugere que efeitos indiretos

Tabela 3. Estimativas dos efeitos diretos e indiretos dos caracteres altura de plantas, diâmetro de caule, massa de cem sementes, número de ramos por planta, projeção da copa na entrelinha e projeção da copa na linha sobre a variável dependente principal produtividade de grãos avaliados aos 18 meses após o plantio de 18 progênies de meios-irmãos de pinhão-manso.

Efeito	AP	DC	MCS	NRP	PCE	PCL
Direto sobre PROD	-0,52	0,75	0,52	0,14	0,82	-0,54
Indireto via AP	-	-0,22	-0,23	0,16	-0,73	0,06
Indireto via DC	0,45	-	0,17	-0,13	0,40	0,20
Indireto via MCS	0,23	0,38	-	-0,14	0,37	0,18
Indireto via NRP	-0,20	-0,33	-0,30	-	0,02	-0,33
Indireto via PCE	0,20	0,31	0,11	0,02	-	0,29
Indireto via PCL	0,15	-0,51	-0,20	0,04	-0,83	-
Total (correlação de Pearson)	0,31	0,38	0,07	0,09	0,05	0,14
Coefficiente de determinação = 0,76						
Efeito da variável residual = 0,36						

AP = altura de plantas; DC = diâmetro do caule; MCS = massa de cem sementes; NRP = número de ramos por planta; PCE = projeção da copa na entrelinha; PCL = projeção da copa na linha; PROD = produtividade de grãos.

podem ter agido sobre a PROD, como o de NRP via DC e MCS e o de PCL via PCE. Desse modo, nem sempre a seleção indireta oferecerá ganhos sobre a variável dependente principal, fazendo com que a seleção simultânea também deva ser cuidadosamente avaliada como uma maneira de se alcançarem ganhos no caráter de interesse (Cruz e Regazzi 2004).

CONCLUSÃO

Os caracteres diâmetro do caule, massa de cem sementes e projeção da copa na entrelinha influenciam diretamente a produtividade de grãos em diferentes genótipos de pinhão-manso.

REFERÊNCIAS

- Achten, W. M. J., Nielsen, L. R., Aerts, R., Lengkeek, A. G. Kjaer, E. D., Trabucco, A., Hansen, J. K., Maes, W. H., Graudal, L. A., Kinnifesi, F. K. e Muys, B. (2010). Towards domestication of *Jatropha curcas*. *Biofuels*, 1, 91-107.
- Bahadur, B., Sujatha, M. e Carels, N. (2013). *Jatropha*, challenges for a new energy crop. Volume 2: genetic improvement and biotechnology. New York: Springer-Verlag.
- Brasileiro, B. P., Silva, S. A., Souza, D. R., Santos, P. A., Oliveira, R. S. e Lyra, D. H. (2013). Genetic diversity and selection gain in the physic nut (*Jatropha curcas*). *Genetics and Molecular Research*, 12, 2341-2350. <http://dx.doi.org/10.4238/2013.January.4.12>.
- Carels, N., Sujatha, M. e Bahadur, B. (2013). *Jatropha*, challenges for a new energy crop. Volume 1: farming, economics and biofuel. New York: Springer-Verlag.
- Corrar, L. J., Paulo, E. e Dias Filho, J. M. (2007). Análise multivariada. São Paulo: Atlas.
- Cruz, C. D. (2013). GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum Agronomy*, 35, 271-276. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251>.
- Cruz, C. D. e Regazzi, A. J. (2004). Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa: UFV.
- Dias, L. A. S., Leme, L. P., Laviola, B. G., Pallini Filho, A., Pereira, O. L., Carvalho, M., Manfio, C. E., Santos, A. S., Sousa, L. C. A., Oliveira, T. S. e Dias, D. C. F. S. (2007). Cultivo de pinhão manso (*Jatropha curcas*). Viçosa: UFV.
- Durães, F. O. M., Laviola, B. G. e Alves, A. A. (2011). Potential and challenges in making physic nut (*Jatropha curcas* L.) a viable biofuel crop: the Brazilian perspective. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 43, 1-6. <http://dx.doi.org/10.1079/PAVSNRR20116043>.
- Everson, C. S., Mengistu, M. G. e Gush, M. B. (2013). A field assessment of the agronomic performance and water use of *Jatropha curcas* in South Africa. *Biomass and Bioenergy*, 59, 59-69. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.03.013>.
- Heller, J. (1996). Physic nut. *Jatropha curcas* L. promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Rome: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research.
- Laviola, B. G., Alves, A. A., Gurgel, F. D., Rosado, T. B., Rocha, R. B. e Albrecht, J. C. (2012). Estimates of genetic parameters for physic nut traits based in the germplasm two years evaluation. *Ciência Rural*, 42, 429435. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782012000300008>.
- Laviola, B. G., Silva, S. D. A., Juhász, A. C. P., Rocha, R. B., Oliveira, R. J. B., Albrecht, J. C., Alves, A. A. e Rosado, T. B. (2014). Desempenho agrônômico e ganho genético pela seleção de pinhão-manso em três regiões do Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 49, 356-363. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2014000500005>.
- Lynch, M. e Walsh, B. (1998). Genetics and analysis of quantitative traits. Sunderland: Sinauer Associates.
- Mode, J. C. e Robinson, H. F. (1959). Pleiotropism and genetic variance and covariance. *Biometrics*, 15, 518-537. <http://dx.doi.org/10.2307/2527650>.
- Montgomery, D. C. e Peck, E. A. (2001). Introduction to linear regression analysis. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons.
- Reis, M. V. M., Damasceno Júnior, P. C., Campos, T. O., Diegues, I. P. e Feitas, S. C. (2015). Variabilidade genética e associação entre caracteres em germoplasma de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). *Revista Ciência Agronômica*, 46, 412-420. <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20150021>.
- Resende, J. C. F., Londe, L. N. e Neves, W. S. (2013). Pinhão manso. Nova Porteira: Epamig.

Spinelli, V.M., Rocha, R.B., Ramalho, A.R., Marcolan, A.L., Vieira, J.R., Fernandes, C.F., Militão, J.S.L.T. e Dias, L.A.S. (2010). Primary and secondary yield components of the oil in physic nut (*Jatropha curcas* L.). *Ciência Rural*, 40, 1752-1758. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782010005000129>.

Teodoro, P.E., Silva Júnior, C.A., Corrêa, C.C.G., Ribeiro, L.P., Oliveira, E.P., Lima, M.F. e Torres, F.E. (2014). Path analysis and correlation of two genetic classes of maize (*Zea mays* L.).

Journal of Agronomy, 13, 23-28. <http://dx.doi.org/10.3923/ja.2014.23.28>.

Wani, T.A., Kitchlu, S. e Ran, G. (2012). Genetic variability studies for morphological and qualitative attributes among *Jatropha curcas* L. accessions grown under subtropical conditions of North India. *South African Journal of Botany*, 79, 102-105. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sajb.2011.10.009>.

Wright, S. (1921). Correlation and causation. *Journal of Agricultural Research*, 20, 557-585.