

Capacidade combinatória e parâmetros genéticos de genótipos de pinhão-manso quanto a caracteres morfoagronômicos

Ulisses Andrade Santana⁽¹⁾, José Luiz Sandez de Carvalho⁽²⁾, Arie Fitzgerald Blank⁽¹⁾ e Renata Silva-Mann⁽¹⁾

⁽¹⁾Universidade Federal de Sergipe, Departamento de Engenharia Agrônômica, Avenida Marechal Rondon, s/nº, Jardim Rosa Elze, CEP 49100-000 São Cristóvão, SE, Brasil. E-mail: ulisses-a-s@hotmail.com, arie.blank@gmail.com, renatamann@gmail.com ⁽²⁾Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia, Rua Dom Manoel de Medeiros, s/nº, Dois Irmãos, CEP 52171-900 Recife, PE, Brasil. E-mail: jlsandes2000@yahoo.com.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi determinar as capacidades geral e específica de combinação, os parâmetros genéticos e a correlação entre caracteres morfoagronômicos, em acessos de pinhão-manso (*Jatropha curcas*). Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições. Foram avaliados os caracteres: PR, produção de sementes; AP, altura de planta; NRS, número de ramos secundários; NFF, número de flores femininas; DC, diâmetro de colo; P100, massa de 100 sementes; AR, altura de ramificação; e DCO, diâmetro de copa. A capacidade geral de combinação foi significativa para PR, NRS, DC, P100 e AR, enquanto a capacidade específica foi significativa apenas para NFF e NRS. As estimativas de herdabilidade foram superiores a 70%, em NRS, NFF, DC e AR. Observou-se correlações genóticas positivas entre NRS e DC (0,942), NRS e AP (0,762), NRS e DCO (0,798), NRS e PR (0,759), DC e AP (0,738), DC e DCO (0,844), DC e PR (0,802), e DCO e PR (0,742); e negativas entre NRS e AR (-0,665), e DC e AR (-0,687). O NFF explicou mais de 50% da variação dos híbridos de pinhão-manso. A capacidade geral de combinação é preponderante na maioria das características avaliadas.

Termos para indexação: *Jatropha curcas*, capacidade específica de combinação, capacidade geral de combinação, contribuição relativa, correlação genética, divergência genética.

Combining ability and genetic parameters of physic nut genotypes for morphoagronomic traits

Abstract – The objective of this work was to determine the general and the specific combining abilities, the genetic parameters, and the correlation between morphoagronomic traits in physic nut (*Jatropha curcas*) accessions. A randomized block experimental design, with three replicates, was used. The evaluated characters were: Y, yield; PH, plant height; NSB, number of secondary branches; NFF, number of female flowers; SD, stem diameter; W100, weight of 100 seeds; HB, height of branches; and DC, diameter of crown. The general combining ability was significant for Y, NSB, SD, W100, and HB, while the specific combining ability was significant only for NFF and NSB. Heritability estimates were higher than 70% for NSB, NFF, SD, and HB. Positive genotypic correlations were observed between NSB and SD (0.942), NSB and PH (0.762), NSB and DC (0.798), NSB and Y (0.759), SD and PH (0.738), SD and DC (0.844), SD and Y (0.802), and DC and Y (0.742); and negative ones between NSB and HB (-0.665), and SD and HB (-0.687). The NFF explained over 50% of the variation in the physic nut hybrids. General combining ability preponderates on the evaluated traits.

Index terms: *Jatropha curcas*, specific combining ability, general combining ability, relative contribution, genetic correlation, genetic divergence.

Introdução

O alto teor de óleo nas sementes do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) e a expectativa de se obter alto rendimento com seu cultivo conferem à espécie grande potencial de uso no Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (Laviola et al., 2010). O desenvolvimento de híbridos e variedades melhoradas da espécie, com menor número de flores

femininas, maturidade precoce, resistência à pragas e doenças, menor altura de plantas e alta ramificação, é fundamental para a consolidação da cultura no país.

A prospecção e a caracterização de acessos, ao lado da seleção de genitores, têm grande importância em um programa de melhoramento genético. Análises dialélicas têm sido comumente utilizadas na seleção de genitores por possibilitarem a avaliação de cruzamentos entre diferentes genótipos, proverem estimativas

agromorfológicas a partir de parâmetros genéticos, e por possibilitarem o entendimento da natureza e da magnitude dos efeitos genéticos sobre a determinação dos caracteres (Cruz, 2006a).

Dados quanto a combinações alélicas entre genitores agronomicamente promissoras, com informações quanto à herdabilidade e as correlações entre caracteres, podem possibilitar ganhos por meio de seleção indireta (Cruz et al., 2004).

A caracterização morfoagronômica de germoplasma de pinhão-manso é primordial para o melhoramento, e deve incluir características qualitativas e quantitativas, como diâmetro de copa, hábito de ramificação, número de ramos primários, inflorescência, razão entre flores masculinas e femininas, abundância de inflorescências, florescimento, frutos por racemo, peso e conteúdo de óleo de sementes. Esses caracteres têm sido sugeridos como descritores para a caracterização e avaliação de genótipos de pinhão-manso (Sunil, 2013). Além desses, a produção de sementes, a altura de plantas, o diâmetro de caule, o número de ramos, o número de flores femininas por racemo floral, o diâmetro de copa também são caracteres relevantes para os programas de melhoramento da espécie.

Em geral, coeficientes de variação fenotípica quanto às características morfoagronômicas são maiores do que coeficientes de variação genética, o que indica o papel predominante do ambiente. Kaushik et al. (2007) reportaram alta herdabilidade e ganhos genéticos para conteúdo de óleo e peso de sementes – índice de ação gênica aditiva –, bem como correlação positiva entre massa de sementes e conteúdo de óleo.

Germoplasmas superiores podem ser utilizados para o registro de cultivares ou como genitores em cruzamentos. Contudo, poucos trabalhos têm sido conduzidos com *J. curcas* para exploração da heterose (Surwenshi et al., 2011).

O objetivo deste trabalho foi determinar as capacidades geral e específica de combinação, os parâmetros genéticos e a correlação entre caracteres morfoagronômicos, em acessos de pinhão-manso (*Jatropha curcas*).

Material e Métodos

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Sergipe, no Município de São Cristóvão, SE, a 10°55'26"S e 37°11'57"W, de 2010 a 2012, sem irrigação. O solo da área é

classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, com relevo plano a suavemente ondulado, característico da paisagem dos Tabuleiros Costeiros (Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, 1999). O clima da região, conforme a classificação de Köppen, é do tipo As, tropical chuvoso, com temperatura média anual de 25,5°C, verão seco, precipitação pluvial média de 1.300 mm ao ano, e chuvas concentradas de abril a setembro.

Seis genótipos de pinhão-manso (JCUFS001-05, JCUFS001-08, JCUFS013-13 JCUFS001-01, JCUFS001-03, JCUFS001-04), escolhidos com base na caracterização morfológica e floral e em dados de diversidade genética, foram utilizados conforme Pessoa (2011). Esses genótipos foram categorizados em dois grupos, tendo-se utilizado como critério a diversidade genética entre eles. Foram obtidos nove híbridos, por meio de cruzamentos controlados entre esses genótipos (Tabela 1), combinados de acordo com metodologia para cruzamentos dialélicos parciais (Geraldi & Miranda Filho, 1988).

As polinizações foram realizadas nas primeiras horas da manhã, tendo-se friccionado a flor masculina nos estigmas das flores femininas. Após a polinização, os estigmas foram envolvidos por tela antiafídica, fixada por grampos. Sementes de frutos maduros foram colhidas, em média, aos 45 dias após a fecundação (Pessoa et al., 2012). As sementes foram tratadas com o fungicida captan (dicarboximida, 120 g por 100 kg) e mantidas em câmara fria. Posteriormente, foram semeadas em janeiro de 2010, em sacos de polietileno de 0,5 L (17x10 cm), com substrato de solo, esterco e pó de coco (1:1:1), para a obtenção das mudas. Estas foram levadas ao campo aos 30 dias após a semeadura.

Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições. Cada parcela experimental (24 m²) foi constituída por seis plantas, no espaçamento 2x2 m. Mudanças de acessos não utilizados nos cruzamentos foram usadas para compor as bordaduras. Os caracteres morfoagronômicos

Tabela 1. Esquema dialélico e acessos utilizados nos cruzamentos para obtenção de híbridos (F_{1s}) de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.).

Genótipo	JCUFS001-01	JCUFS001-03	JCUFS001-04
JCUFS001-05	5x1	5x3	5x4
JCUFS001-08	8x1	8x3	8x4
JCUFS013-13	13x1	13x3	13x4

avaliados foram: PR, produção de sementes (kg ha⁻¹); AP, altura de planta (cm), medida desde a superfície do solo até o ápice do racemo mais alto; NRS, o número de ramos secundários; e NRF, número de flores femininas do racemo floral, que totalizou 30 racemos por parcela. Posteriormente, foram obtidos: a média aritmética do número de flores femininas (NFF), para cada parcela; o diâmetro de colo, DC (cm), medido na base do caule, a 5 cm do solo; a massa de 100 sementes, P100 (g), estimada pela pesagem de três repetições de 100 sementes de cada parcela; a altura de ramificação, AR (cm), medida desde a superfície do solo até a primeira ramificação do caule, em todas as plantas da parcela; e o diâmetro de copa, DCO (cm), obtido pela média de quatro medições da copa. As colheitas para obtenção de PR e P 100 (g) foram realizadas de janeiro a outubro de 2012; os demais caracteres foram avaliados durante os meses de junho, julho e agosto de 2012.

As análises de variância foram realizadas conforme o modelo matemático,

$$Y_{ijk} = \mu + g_i + r_j + \varepsilon_{ijk},$$

que considera os tratamentos fixos, e em que: Y_{ijk} é o valor da ijk -ésima observação, referente ao genótipo i e à J -ésima repetição do bloco k ; μ é a média geral; g_i é o efeito do i -ésimo tratamento ($i = 1, 2, \dots, 9$); r_j é o efeito da j -ésima repetição ($r = 1, 2, \dots, 3$); ε_{ijk} é o erro experimental associado à parcela ijk .

Foram obtidas as estimativas de variância genética (σ_g^2), ambiental (σ_e^2), fenotípica (σ_f^2), bem como a herdabilidade (h^2) e a correlação genética (Cruz & Regazzi, 1994) entre os caracteres. A contribuição relativa dos caracteres para a divergência foi avaliada conforme Singh (1981), aplicada às estimativas de distância generalizada de Mahalanobis, e pela estimativa dos autovetores associados às variáveis canônicas.

As análises de variância dialélica, bem como as estimativas dos componentes de médias, capacidade geral (CGC) e específica (CEC) de combinação foram obtidas segundo o método 4 de Griffing (1956), adaptado para dialélos parciais por Geraldi & Miranda Filho (1988), com base no modelo matemático,

$$Y_{ij} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + \varepsilon_{ij},$$

em que: Y_{ij} é a média do cruzamento entre o acesso i do grupo 1 e o acesso j do grupo 2; μ é a média geral; g_i é o efeito da capacidade geral de combinação do

acesso i do grupo 1; g_j é o efeito da capacidade geral de combinação do acesso j do grupo 2; s_{ij} é o efeito da capacidade específica de combinação entre as cultivares i e j ; e ε_{ij} é o erro experimental associado às médias dos cruzamentos.

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa computacional Genes, versão 2009.7.0 (Cruz, 2006b).

Resultados e Discussão

Os quadrados médios, obtidos na análise dialélica, foram significativos quanto aos caracteres morfoagronômicos PR, NFF, P100, DC, NRS, AR e DCO (Tabela 2). Porém, os caracteres PR, P100, DC, AP, AR e DCO não foram significativos quanto à CEC.

Biabani et al. (2012) avaliaram AP, DC e número de folhas, no estádio de mudas, em genitores e híbridos de pinhão-mansô, obtidos em cruzamento dialélico. Os autores observaram que as análises de variância foram significativas para número de folhas após 15 dias de plantio, exceto quanto à CEC.

Os caracteres PR, P100, DC, NRS, AR e DCO diferiram quanto aos efeitos da CGC, nos genótipos do grupo 1. Nos do grupo 2, observaram-se diferenças significativas quanto à CGC, nos caracteres P100 e NRS. Portanto, observa-se que os parentais não constituem grupo homogêneo e que há diferenças genotípicas entre os nove híbridos, ou seja, entre os caracteres citados.

Estimativas dos efeitos de CGC são importantes para se identificar genitor ou grupo de genitores com maior habilidade de combinação. Observou-se efeito significativo e positivo da CGC para P100 e NRS, no grupo 1. Biabani et al. (2012) obtiveram estimativas de CGC que possibilitaram identificar um genitor efetivo quanto a AP, DC e ao número de folhas aos 15, 30, 60 e 90 dias após plantio.

Os seguintes genitores destacaram-se quanto à CGC nos caracteres PR, NFF, AR e DCO: JCUFS-03 e JCUFS-08, com maior NFF; JCUFS-04 e JCUFS-13, com maior P100; JCUFS-04 e JCUFS-05, com maior DC; JCUFS-03 e JCUFS-05, menor AP; JCUFS-04 e JCUFS-13, maior NRS; JCUFS-01 e JCUFS-04 e JCUFS-05, menor AR; JCUFS-04 e JCUFS-13, maior DCO.

Quanto à CEC, observou-se diferença significativa apenas para NFF e NRS (Tabela 2). Os demais

caracteres, PR, P100, DC, AP, AR e DCO não apresentaram CEC significativa. Quanto ao caráter NFF, observou-se elevada contribuição da CEC (77,14%) para a variação entre os tratamentos.

Os nove híbridos testados variaram quanto aos valores mínimos e máximos observados, com diferenças de 67,73% na PR; 71,62% no NFF; 58,69% no NRS; 52,41% na AR; e 81,14% no DCO (Tabela 3).

Na avaliação geral das estimativas de CGC, constatou-se que os alelos favoráveis estão dispersos entre os acessos, para os oito caracteres agrônômicos avaliados. O acesso JCUFS-04 provavelmente reúne alelos favoráveis para seis dos oito caracteres, seguido pelo JCUFS-05, que reúne alelos favoráveis para quatro dos oito caracteres (Tabela 4). A capacidade específica de combinação (s_{ij}) é interpretada como o desvio de um híbrido em relação ao que seria esperado nas capacidades gerais de combinação de seus parentais.

Os maiores valores de frequência dos genes com dominância ocorrem nos genótipos mais divergentes, embora também haja influência da frequência gênica média do dialelo (Vencovsky, 1970).

Três híbridos apresentaram valores positivos de \hat{g} quanto a PR (Tabela 4). Os genótipos JCUFS-01, JCUFS-04 e JCUFS-05 apresentaram desvios positivos em relação à média. No grupo 1, o maior \hat{g} foi observado em JCUFS-04 ($\hat{g}_4 = 45,124$), 5,25 vezes maior do que o segundo valor, observado em JCUFS-01 ($\hat{g}_1 = 8,617$). No grupo 2, observou-se estimativa positiva de \hat{g} apenas em JCUFS-05 ($\hat{g}_5 = 21,371$).

As estimativas de CEC quanto a NFF e NRS (Tabela 2) variaram entre os nove híbridos. Os cruzamentos que tiveram boa complementação para esses dois caracteres foram: JCUFS-04 x JCUFS-05, quanto ao NFF, e JCUFS-04 x JCUFS-13 e JCUFS-01 x JCUFS-05, com maior NRS (Tabela 4).

Tabela 2. Quadrados médios das características morfoagronômicas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), obtidos pela análise dialélica, pelo método de Griffing adaptado para dialelos parciais.

Fonte de variação	GL	PR	NFF	P100	DC	AP	NRS	AR	DCO
Tratamento	8	9.288,03**	3,47**	33,04*	0,77**	158,18 ^{ns}	123,94**	89,98**	916,93*
CGC (G1)	2	22.494,18**	0,96 ^{ns}	38,68*	2,22**	250,74 ^{ns}	338,94**	325,92**	2.743,99*
CGC (G2)	2	3.922,73 ^{ns}	2,20 ^{ns}	61,88*	0,20 ^{ns}	53,35 ^{ns}	50,20*	2,42 ^{ns}	71,90 ^{ns}
CEC	4	5.367,61 ^{ns}	5,35**	15,81 ^{ns}	0,33 ^{ns}	164,32 ^{ns}	53,31**	15,79 ^{ns}	425,92 ^{ns}
Erro	16	2.243,81	1,00	10,08	0,11	73,04	10,38	13,38	303,95
CV (%)		12,54	12,20	4,04	3,49	3,95	8,60	16,66	7,61
%SQCGC _{G1}		60,54	6,94	29,26	71,72	39,62	68,36	90,54	74,81
%SQCGC _{G2}		10,55	15,87	46,81	6,62	8,43	10,12	0,67	1,96
%SQCEC		28,89	77,14	23,92	21,32	51,94	21,50	8,77	23,22

^{ns}Não significativo. * e **Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. PR, produção de sementes; NFF, número de flores femininas; P100, massa de 100 sementes; DC, diâmetro de colo; AP, altura de planta; NRS, número de ramos secundários; AR, altura de ramificação; DCO, diâmetro da copa (cm).

Tabela 3. Médias dos caracteres morfoagronômicos de híbridos F₁ de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), obtidos em cruzamentos em dialelo parcial.

Híbrido	PR (kg ha ⁻¹)	NFF	P100 (g)	DC (cm)	AP (cm)	NRS	AR (cm)	DCO (cm)
JCUFS-01xJCUFS-05	441,94a	7,72b	76,92b	10,29a	221,13a	44,11a	20,33b	238,64a
JCUFS-01xJCUFS-08	374,94b	9,40a	75,87b	9,51b	223,88a	37,22b	17,67b	217,19b
JCUFS-01x JCUFS-13	342,41b	7,56b	77,91b	9,50b	211,55a	38,60b	17,00b	217,17b
JCUFS-03xJCUFS-05	299,48b	7,33b	73,65b	9,19b	211,67a	30,77c	27,94a	216,41b
JCUFS-03xJCUFS-08	311,87b	9,76a	76,08b	8,83b	211,49a	28,66c	30,95a	206,44b
JCUFS-03x JCUFS-13	360,85b	8,46a	83,25a	8,98b	207,55a	31,99c	27,83a	221,08b
JCUFS-04xJCUFS-05	456,13a	9,39a	78,45b	9,73a	210,11a	37,66b	16,22b	237,39a
JCUFS-04xJCUFS-08	385,59b	6,99b	80,97a	9,92a	221,66a	39,38b	18,95b	254,11a
JCUFS-04xJCUFS-13	427,09a	7,18b	83,01a	10,21a	227,72a	48,83a	20,73b	254,43a
Média	377,81	8,20	78,45	9,58	216,31	37,47	21,95	229,17

PR, produção de sementes; NFF, número de flores femininas; P100, massa de 100 sementes; DC, diâmetro de colo; AP, altura de planta; NRS, número de ramos secundários; AR, altura de ramificação; DCO, diâmetro de copa .

Embora a CEC em relação à PR não tenha sido significativa, quando as proporções relativas das somas de quadrados foram comparadas (Tabela 2), verificou-se que esta contribuiu com 28,89% da soma de quadrados. Esse fato evidencia que o efeito decorrente de genes não aditivos não é desprezível na expressão do caráter. Alguns cruzamentos destacam-se pela existência de interação positiva entre os genitores, conforme observado em JCUFS-03 x JCUFS-13 ($\hat{S}_{3-13} = 37,815$) e JCUFS-01 x JCUFS-05 ($\hat{S}_{1-5} = 37,815$).

Pela análise dos componentes das médias dos materiais, quanto à PR (Tabela 3), observou-se que o primeiro e o terceiro híbridos (maiores médias) têm

o genitor de maior \hat{g} , enquanto o segundo colocado apresentou maior CEC ($\hat{S}_{15} = 34,138$) do que os demais, apesar da não significância (Tabela 4).

O efeito da CEC é um importante critério para a avaliação de cruzamentos. As médias de menor valor correspondem aos cruzamentos em que os genitores utilizados apresentaram as menores estimativas de CGC (genitor 3 do grupo 1 e genitores 8 e 13 do grupo 2), o que evidencia a importância dos efeitos da CGC na composição das médias dos cruzamentos. Outro fator determinante foram as baixas estimativas da CEC apresentadas pelos cruzamentos JCUFS-03 x JCUFS-05 e JCUFS-01 x JCUFS-13 (Tabela 5).

Tabela 4. Estimativas dos efeitos das capacidades geral (CGC) e específica de combinação (CEC) em pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.).

Genótipos	PR	NFF	P100	DC	AP	NRS	AR	DCO
				Efeitos da CGC (grupo1)				
JCUFS-01	8,617	0,026	-1,556	0,192*	2,547	2,506*	-3,620*	-4,842
JCUFS-03	-53,742*	0,313	-0,796	-0,564**	-6,068*	-6,993**	6,946**	-14,528
JCUFS-04	45,124*	-0,340	2,353	0,372**	3,521	4,486**	-3,326	19,371*
				Efeitos da CGC (grupo2)				
JCUFS-05	21,371	-0,053	-2,116	0,158	-2,008	0,043	-0,460	1,541
JCUFS-08	-20,345	0,520	-0,816	-0,144	2,707	-2,383*	0,563	-3,262
JCUFS-13	-1,025	-0,466	2,933	-0,014	-0,698	2,340*	-0,103	1,721
				Efeitos da CEC				
JCUFS-01 x JCUFS-05	34,138	-0,456	2,136	0,367*	4,279	4,086**	2,4533	12,765
JCUFS-01 x JCUFS-08	8,855	0,660	-0,213	-0,118	2,322	-0,376	-1,230	-3,881
JCUFS-01 x JCUFS-13	-42,994*	-0,203	-1,923	-0,248	-6,601	-3,710**	-1,223	-8,884
JCUFS-03 x JCUFS-05	-45,961*	-1,133**	-1,893	0,014	3,435	0,256	-0,503	0,232
JCUFS-03 x JCUFS-08	8,145	0,723	-0,763	0,007	-1,451	0,563	1,473	-4,944
JCUFS-03 x JCUFS-13	37,815	0,409	2,656*	-0,022	-1,984	-0,820	-0,969	4,712
JCUFS-04 x JCUFS-05	11,822	1,590**	-0,243	-0,382**	-7,714*	-4,343**	-1,950	-12,997
JCUFS-04 x JCUFS-08	-17,001	-1,383**	0,976	0,111	-0,871	-0,186	-0,243	8,825
JCUFS-04 x JCUFS-13	5,178	-0,206	-0,733	0,271	8,585*	4,530**	2,193	4,172

PR, produção de sementes; NFF, número de flores femininas; P100, massa de 100 sementes; DC, diâmetro de colo; AP, altura de planta; NRS, número de ramos secundários; AR, altura de ramificação; DCO, diâmetro de copa.

Tabela 5. Estimativas de variância genética (σ_g^2), ambiental (σ_e^2) e fenotípica (σ_f^2) e herdabilidade no sentido amplo (h^2) em caracteres de híbridos de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.).

Parâmetro	PR	NFF	P100	DC	AP	NRS	AR	DCO
σ_g^2	2.348,19	0,82	7,65	0,22	28,41	37,85	25,56	204,89
σ_e^2	747,93	0,33	3,36	0,03	24,34	3,46	4,45	101,31
σ_f^2	3.096,13	1,15	11,01	0,25	52,75	41,31	30,02	306,21
h^2	75,84	71,16	69,48	85,50	53,85	91,61	85,14	66,91
CVgi%	12,82	11,06	3,52	4,90	2,46	16,41	23,02	6,24
CVe%	12,53	12,19	4,04	3,49	3,95	8,60	16,65	7,60
Média geral	377,81	8,20	78,45	9,58	216,31	37,47	21,95	229,21

PR, produção de sementes; NFF, número de flores femininas; P100, massa de 100 sementes; DC, diâmetro de colo; AP, altura de planta; NRS, número de ramos secundários; AR, altura de ramificação; DCO, diâmetro de copa; CVgi, coeficiente de variação genética aditiva individual; CVe, coeficiente de variação residual.

Laviola et al. (2011) verificaram maior variância genética decorrente da CEC no caráter AP, em comparação com a variância aditiva; enquanto que, para DC, os autores observaram maior predominância de variância aditiva. Resultados semelhantes também foram encontrados no presente trabalho, em que a CEC contribuiu com 51,94% para a variação da AP, e a CGC com 39,62%, para o grupo 1 e 8,43% para o grupo 2. Em relação ao DC, a CGC dos dois grupos contribuiu com 78,34% da variação, e a CEC com 21,32%.

Os cruzamentos com as maiores médias de produção aos 24 meses foram, em ordem decrescente: JCUFS-04 x JCUFS-05 (456,13 kg ha⁻¹), JCUFS-01 x JCUFS-05 (441,94 kg ha⁻¹); e JCUFS-04 x JCUFS-13 (427,09 kg ha⁻¹). Essas médias encontram-se muito abaixo das citadas por Drumond et al. (2010) que, ao avaliar genótipos-elite de pinhão-manso, cultivados sob irrigação, obtiveram produtividade de até 3.542 kg ha⁻¹, nos primeiros ciclos de produção. Esses autores relataram produtividade média de aproximadamente 3,5 vezes maior do que as obtidas no presente trabalho, que foi conduzido em regime normal de chuvas.

Segundo Laviola et al. (2011), para obter ganhos em caracteres que apresentam expressão relacionada a genes aditivos (CGC), é recomendável priorizar a recombinação dos melhores indivíduos, aqueles com maior valor genético aditivo. No entanto, o melhoramento de uma população para caracteres com maior variação decorrente dos efeitos da CEC deve priorizar a capitalização da heterose (dominância e divergência genética). Ao analisar separadamente os genitores, quanto à concentração de alelos favoráveis (CGC), destacaram-se JCUFS-04 e JCUFS-05 (Tabela 4). O genitor JCUFS-04 apresenta alelos favoráveis dos caracteres PR, P100, DC, NRS, AR e DCO; ainda no grupo 1, o genitor JCUFS-03 apresenta alelos favoráveis de NFF e AP. O genitor JCUFS-05 apresenta alelos favoráveis de PR, DC, AP e AR. Também no grupo 2, o genitor JCUFS-13 apresenta alelos favoráveis de P100, NRS e DCO (Tabela 5).

Os resultados obtidos atestam que a variância genotípica entre os híbridos foi maior do que a variância residual, para todas as características (Tabela 5). Os caracteres NRS, NFF, AR e PR apresentaram os maiores coeficientes de variação genética: 16,41, 11,06, 23,02 e 12,82%, respectivamente. Os coeficientes de variação genotípica foram numericamente próximos aos de variação residual, para a maioria dos caracteres. Os caracteres NRS e AR, no entanto, apresentaram

coeficientes de variação genotípicos maiores do que os de variação residual.

A variabilidade genética encontrada para os caracteres morfoagronômicos está de acordo com a literatura, que tem destacado a existência de diversidade genética a ser explorada em pinhão-manso. Laviola et al. (2010) relataram variabilidade genética em 110 acessos de pinhão-manso, no 1º ano agrícola, para diferentes características morfológicas relacionadas à produção. Abreu et al. (2009) também encontraram variabilidade genética significativa, entre dez acessos avaliados quanto à altura de plantas, altura de inserção da primeira folha, ao diâmetro do colo e ao número de folhas. Ginwal et al. (2004) avaliaram acessos de pinhão-manso procedentes de dez Estados da Índia, dos três meses aos dois anos, e encontraram variabilidade genética em características como: morfologia da semente, características de crescimento e produtividade de óleo. Parthiban et al. (2011) avaliaram 27 híbridos de pinhão-manso na Índia e encontraram altos coeficientes de variação fenotípica e genotípica, em que a produção de sementes foi o caráter com os maiores coeficientes de variação, seguido por índice de robustez, NRS, DC, AP e número de ramos primários.

Em geral, os dados de herdabilidade no sentido amplo foram altos, e muitos caracteres apresentaram valores acima de 70%. Quanto a DC, estimativas de herdabilidade altas a moderadas têm sido relatadas, com valores de: 33,7% (Laviola et al., 2011), 68,9% (Das et al., 2010), 76% (Ginwal et al., 2004) e 87,1% (Parthiban et al., 2011); contra 85,50% do presente trabalho.

Quanto à AP, a herdabilidade foi de 53,85%, em comparação aos valores citados na literatura de 55,57% (Laviola et al., 2011), 74,8% (Parthiban et al., 2011), 87,73% (Rao et al., 2008), 89% (Das et al., 2010) e 97% (Ginwal et al., 2004). Quanto ao NRS, observou-se 91,61% de herdabilidade, resultado superior aos de outros estudos, como os de Das et al. (2010), Laviola et al. (2011) e Parthiban et al. (2011). Quanto a NFF, observou-se herdabilidade de 71,16%. Das et al. (2010) relataram 41,5%, quanto ao número de racemos florais por planta, e 21,8% para o NFF por racemo floral.

Os descritores que mais contribuíram para a divergência (Singh, 1981) entre as nove combinações híbridas estudadas foram: NFF, 21%; DC, 17%; PR, 15%; e NRS, 14%. Os caracteres que menos contribuíram foram: AP, 13%; P100, 10%; AR, 8%; e

DC, 2%. Resultados semelhantes foram encontrados por Laviola et al. (2011).

As correlações genotípicas positivas (Tabela 6) foram observadas entre: NRS e DC (0,942); NRS e AP (0,762); NRS e DCO (0,798); NRS e PR (0,759); DC e AP (0,738); DC e DCO (0,844); DC e PR (0,802); e DCO e PR (0,742). Correlações genotípicas negativas foram observadas entre: NRS e AR (-0,665); e DC e AR (-0,687). Todas as características avaliadas, com exceção de AR, apresentaram correlações genotípicas positivas em relação à PR. Isto evidencia a importância de se trabalhar com essas características, em programas de melhoramento da espécie que visem maior produção de sementes e de óleo, que é o produto de maior interesse.

As altas correlações positivas dos parâmetros da copa e da PR estão em consonância com os resultados relatados por Bhering et al. (2012), que observaram correlação genética positiva de PR com o volume de copa, diâmetro de copa nas linhas e entre linhas, e o número total de ramificações.

As correlações genéticas estão relacionadas a efeitos pleiotrópicos e, como causa transitória, à ligação gênica (Cruz & Regazzi, 1994). O conhecimento sobre a correlação de caracteres é muito importante, principalmente se a seleção de um deles é dificultada em razão da baixa herdabilidade. Bhering et al. (2012) afirmam que a seleção direta quanto à produção de sementes em pinhão-manso tende a estar relacionada ao diâmetro e ao volume de copa. Esta informação é relevante para prever as adaptações necessárias no

sistema de produção (espaçamento, colheiteira), para as cultivares melhoradas que se espera obter.

Conclusões

1. A capacidade geral de combinação é o efeito preponderante para a maioria das características morfoagronômicas avaliadas do pinhão-manso.

2. A variável número de flores femininas explica mais de 50% da variação observada nos híbridos de pinhão-manso.

3. O genitor JCUFS-04 destaca-se quanto à concentração de alelos favoráveis dos caracteres produção de sementes, massa de cem sementes, diâmetro do colo, número de ramos secundários, altura de ramificação e diâmetro de copa, enquanto que o JCUFS-05 destaca-se quanto à produção de sementes, diâmetro do colo e altura de plantas e dos ramos.

4. Os valores de herdabilidade são elevados e a correlação genética entre os caracteres morfoagronômicos é geralmente positiva, o que possibilita a realização de seleção indireta.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão de bolsa; e à Fundação de Apoio à Pesquisa e Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe (Fapitec) e à Agência Brasileira de Inovação (Finep), pelo financiamento da pesquisa.

Referências

ABREU, F.B.; RESENDE, M.D.V. de; ANSELMO, J.L.; SATURNINO, H.M.; BRENHA, J.A.M.; FREITAS, F.B. de. Variabilidade genética entre acessos de pinhão-manso na fase juvenil. **Magistra**, v.21, p.36-40, 2009.

BHERING, L.L.; LAVIOLA, B.G.; SALGADO, C.C.; SANCHEZ, C.F.B.; ROSADO, T.B.; ALVES, A.A. Genetic gains in physic nut using selection indexes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.402-408, 2012. DOI: 10.1590/S0100-204X2012000300012.

BIABANI, A.; RAFII, M.Y.; SALEH, G.; SHABANIMOFRAD, M.; LATIF, M.A. Combining ability analysis and evaluation of heterosis in *Jatropha curcas* (L). **Australian Journal of Crop Science**, v.6, p.1030-1036, 2012.

CRUZ, C.D. **Programa GENES**. Versão 4.1. Viçosa: Ed. da UFV, 2006a.

CRUZ, C.D. **Programa GENES: biometria**. 2.ed. Viçosa: Ed. da UFV, 2006b. 174p.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2.ed. Viçosa : Ed. da UFV, 1994. 390p.

Tabela 6. Estimativas de correlação entre caracteres morfoagronômicos, em híbridos de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.).

Caráter	NFF	P100	DC	AP	AR	DCO	PR
NRS (unid)	-0,490	0,429	0,942**	0,762*	-0,665*	0,798**	0,759*
NFF (unid)		-0,277	-0,493	-0,342	0,150	-0,554	0,033
P100 (g)			0,262	0,170	-0,129	0,596	0,422
DC (cm)				0,738*	-0,687*	0,844**	0,802**
AP (cm)					-0,420	0,612	0,434
AR (cm)						-0,503	-0,660
DCO (cm)							0,742*

* e **Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t. NRS, número de ramos secundários; NFF, número de flores femininas; P100, massa de 100 sementes; DC, diâmetro de colo; AP, altura de planta; AR, altura de ramificação; DCO, diâmetro da copa; PR, produção de sementes.

- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3.ed. Viçosa: Ed. da UFV, 2004. 480p.
- DAS, S.; MISRA, R.C.; MAHAPATRA, A.K.; GANTAYAT, B.P.; PATTNAIK, R.K. Genetic variability, character association and path analysis in *Jatropha curcas*. **World Applied Sciences Journal**, v.8, p.1304-1308, 2010. DOI: 10.007/s00468-008-0229-4.
- DRUMOND, M.A.; SANTOS, C.A.F.; OLIVEIRA, V.R. de; MARTINS, J.C.; ANJOS, J.B. dos; EVANGELISTA, M.R.V. Desempenho agrônomo de genótipos de pinhão manso no Semiárido pernambucano. **Ciência Rural**, v.40, p.44-47, 2010. DOI: 10.1590/S0103-84782009005000229.
- GERALDI, I.O.; MIRANDA FILHO, J.B. de. Adapted models for the analysis of combining ability of varieties in partial diallel. **Revista Brasileira de Genética**, v.11, p.419-430, 1988.
- GINWAL, H.S.; RAWAT, P.S.; SRIVASTAVA, R.L. Seed source variation in growth performance and oil yield of *Jatropha curcas* Linn. Central India. **Silvae Genetica**, v.53, p.186-192, 2004.
- GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences**, v.9, p.463-493, 1956.
- KAUSHIK, N.; KUMAR, K.; KUMAR, S.; KAUSHIK, N.; ROY, S. Genetic variability and divergence studies in seed traits and oil content of *Jatropha (Jatropha curcas L.)* accessions. **Biomass and Bioenergy**, v.31, p.497-502, 2007. DOI: 10.1016/j.biombioe.2007.01.021.
- LAVIOLA, B.G.; BHERING, L.L.; MENDONÇA, S.; ROSADO, T.B.; ALBRECHT, J.C. Caracterização morfo-agronômica do banco de germoplasma de pinhão manso na fase jovem. **Bioscience Journal**, v.27, p.371-379, 2011.
- LAVIOLA, B.G.; ROSADO, T.B.; BHERING, L.L.; KOBAYASHI, A.K.; RESENDE, M.D.V. Genetic parameters and variability in physic nut accessions during early developmental stages. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.1117-1123, 2010. DOI: 10.1590/S0100-204X2010001000010.
- PARTHIBAN, K.T.; KIRUBASHANKKAR, R.; PARAMATHMA, M.; SUBBULAKSHMI, V.; THIYAGARAJAN, P.; VENNILA, S.; SUJATHA, M.; DURAIRASU, P. Genetic association studies among growth attributes of *Jatropha* hybrid genetic resources. **International Journal of Plant Breeding and Genetics**, v.5, p.159-167, 2011. DOI: 10.3923/ijpb.2011.159.167.
- PESSOA, A.M. dos S. **Fenologia e caracterização morfológica floral, molecular e agrônômica de acessos de pinhão-manso (Jatropha curcas L.)**. 2011. 70p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão.
- PESSOA, Â.M.S.; SANTOS, Â.G.; RIBEIRO, M.L.F.; SILVA-MANN, R. Influência da maturação de frutos na germinação, vigor e teor de óleo de sementes de pinhão-manso (*Jatropha curcas L.*). **Scientia Plena**, v.8, p.1-11, 2012.
- RAO, G.R.; KORWAR, G.R.; SHANKER, A.K.; RAMAKRISHNA, Y.S. Genetic associations, variability and diversity in seed characters, growth, reproductive phenology and yield in *Jatropha curcas* (L.) accessions. **Trees – Structure and Function**, v.22, p.697-709, 2008. DOI: 10.1007/s00468-008-0229-4.
- SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **The Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, v.41, p.237-245, 1981.
- SISTEMA brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. 412p.
- SUNIL, N.; KUMAR, V.; SUJATHA, M.; RAO, G.R.; VARAPRASAD, K.S. Minimal descriptors for characterization and evaluation of *Jatropha curcas L.* germplasm for utilization in crop improvement. **Biomass and Bioenergy**, v.48, p.239-249, 2013. DOI: 10.1016/j.biombioe.2012.11.008.
- SURWENSHI, A.; KUMAR, V.; SHANWAD, U.K.; JALAGERI, B.R. Critical review of diversity in *Jatropha curcas* for crop improvement: a candidate biodiesel crop. **Research Journal of Agricultural Sciences**, v.2, p.193-198, 2011.
- VENCOVSKY, R. **Alguns aspectos teóricos e aplicados relativos a cruzamentos dialélicos de variedades**. 1970. 59p. Tese (Livro Docência) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

Recebido em 30 de agosto de 2013 e aprovado em 30 de outubro de 2013