

Variabilidade genética em progênies de polinização aberta de *Jatropha curcas*Genetic variability in open pollinated progenies of *Jatropha curcas*

Kairo Henrique Pereira Fernandes¹, Cristiano Bueno de Moraes², André Carignato³,
Heloisa Mattana Saturino⁴, Neide Tomita Mori⁵, Cantídio Fernando Gouvêa⁶,
Léo Zimback⁷, Mário Luiz Teixeira de Moraes⁸ e Edson Seizo Mori⁹

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo estimar os parâmetros genéticos de caracteres morfológicos, crescimento de plantas, produção de frutos e sementes e teor de óleo, além de prover uma fonte de material genético superior para continuidade do programa de melhoramento em *Jatropha curcas*. Para tanto, foi instalado um teste de progênies de polinização aberta da espécie *Jatropha curcas* na Fazenda São Manuel, da Faculdade de Ciências Agrônomicas – UNESP. O experimento foi conduzido no delineamento em blocos casualizados, com 30 progênies, três repetições e oito plantas por parcela linear. Foram avaliados os caracteres: altura de plantas (ALT), número de ramos por planta (NRP), número de inflorescências por planta (NINF), número de frutos por planta (NF), peso de frutos (PF) e sementes (PS) e o teor de óleo % (TO). A estimativa dos parâmetros genéticos foi realizada pelo programa SELEGEN. As estimativas dos coeficientes de variação genética individual (CV_{gr}) e coeficiente de variação genética de progênies (CV_{gp}) aos 24 meses foram de 26,7% e 13,4% para altura e 21,2% e 10,6% para número de ramos. Aos 48 meses os coeficientes de herdabilidade entre as médias de progênies (h^2_{mp}) foram 0,41 (ALT); 0,31 (NRP); 0,77 (NINF), 0,44 (NF). A herdabilidade em nível de plantas para teor de óleo (TO %) foi baixa ($h^2_a = 0,03$), no entanto, para médias de progênies o controle genético foi melhor ($h^2_{mp} = 0,37$). Dentre as progênies, algumas se mostraram superiores tanto para produção de sementes como para teor de óleo. Conclui-se que a população de *Jatropha curcas* apresenta variabilidade genética, permitindo ganhos para as gerações futuras.

Palavras-chave: teste de progênies, parâmetros genéticos, pinhão manso.

Abstract

The objective of the present work was to estimate the genetic parameters of morphological traits, such as plant growth, fruit and seed production; and oil content and also to provide a source of superior genetic material for the breeding program of *Jatropha curcas*. For that, a *J. curcas* open pollination progeny test was set up in São Manuel Experimental Station, of College of Agricultural Sciences (FCA) of São Paulo State University (UNESP). The experimental design was of completely randomized blocks with 30 progenies, three replications, and eight plants per linear plot. We evaluated plants height (ALT), number of branches per plant (NRP), number of inflorescences per plant (NINF), number of fruits per plant (NF), weight of fruits (PF), weight of seeds (PS) and oil content % (TO). The software SELEGEN was the used to estimate the genetic parameters. The individual genetic variation coefficients (CV_{gr}) and progeny genetic variation

¹Mestre pela Faculdade de Ciências Agrônomicas. UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Fazenda Lageado - 18.610-307, Botucatu, SP. E-mail: kairofernandes@yahoo.com.br.

²Professor Adjunto. UFT - Universidade Federal do Tocantins. Campus de Gurupi. Rua Badejós, chácaras 69 e 72 Lt.07 - Zona Rural - 77.404-970 Gurupi/TO. E-mail: cb_moraes2004@yahoo.com.br

³Graduando na Faculdade de Ciências Agrônomicas. UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Fazenda Lageado - 18.610-307, Botucatu, SP. E-mail: acarignato@fca.unesp.br.

⁴Pesquisadora Científica. EPAMIG – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. Rodovia MGT-122 km 155 - 39.525.000 - Nova Porteirinha -MG. E-mail: heloisams@epamig.br.

⁵Doutora em Ciência Florestal pela Faculdade de Ciências Agrônomicas. UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Fazenda Lageado - 18.610-307, Botucatu, SP. E-mail: nkimie@hotmail.com.

⁶Professor Adjunto. UFS - Universidade Federal de Sergipe. Avenida Marechal Rondon, s/n - Jardim Rosa Elze -Cidade Universitária Professor José Aloísio de Campos - São Cristovão, SE. E-mail: cantrabalho@gmail.com.

⁷Pesquisador Científico. IF – Instituto Florestal de São Paulo - Seção Conservação e Melhoramento Genético Florestal. Avenida José Ítalo Bacchi s/n - 18603-970, Botucatu, SP. E-mail: lzimback@terra.com.br.

⁸Professor Titular da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. UNESP - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Av. Brasil, 56 - 15385-000 - Ilha Solteira, SP. E-mail: teixeira@agr.feis.unesp.br.

⁹Professor Titular da Faculdade de Ciências Agrônomicas. UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Fazenda Lageado - 18.610-307, Botucatu, SP E-mail esmori@fca.unesp.br.

coefficients (CV_{gp}) at 24 months were 26.7% and 13.4% for height and 21.2% and 10.6% for number of branches. At 48 months the heritability coefficients among the progeny averages (h^2_{mp}) were 0.41 (ALT); 0.31 (NRP); 0.77 (NINF), and 0.44 (NF). The coefficient of heritability for individual plant level of oil content (TO %) was very low ($h^2_a = 0.03$), therefore, for the heritability of progeny means was higher than the individual level ($h^2_{mp} = 0.37$). Among progenies, some of them were superior for both, and seed production and oil content. We conclude that the present *J. curcas* population has enough genetic variability allowing obtaining gains through advanced generations.

Keywords: progenies trial, genetic parameters, *Jatropha curcas*.

INTRODUÇÃO

Na busca para a substituição dos derivados de petróleo existem aproximadamente mais de 200 espécies oleaginosas potenciais como matéria prima para produção de biodiesel (GUBITZ et al., 1999; AKBAR et al., 2009). A espécie *Jatropha curcas* (pinhão manso) pertence à família Euphorbiaceae e se apresenta como potencial para produção de biodiesel, devido ao seu rápido crescimento e se adaptar a condições edafoclimáticas diversas, mostrando-se com características promissoras para a produção de biodiesel. Estima-se que ele produz por aproximadamente 40 anos, duas toneladas de óleo por hectare (TOMINAGA et al., 2007; GARDNER et al., 2010). Uma das principais vantagens sobre as oleaginosas anuais é que o pinhão manso é perene. Plantas perenes diluem o custo de implantação da cultura ao longo dos anos. Apresenta boa conservação da semente colhida podendo ser armazenada por longos períodos sem os inconvenientes da deterioração do óleo (AKOWUAH et al., 2012).

Entretanto, há uma grande apreensão dos técnicos que vêm trabalhando com pinhão manso no Brasil, pois é uma cultura sobre a qual o conhecimento técnico é extremamente limitado (ARRUDA et al., 2004; DURÃES et al., 2011). Assim, características como plantios desuniformes, falta de sistema de produção minimamente validado, associados à falta de um programa de melhoramento genético bem estabelecido, têm sido apontadas como um dos principais fatores que limitam sua expansão (OPENSHAW, 2000; VALDES et al., 2011).

O cultivo do pinhão manso depende de sua domesticação, a fim de obter maior produtividade e homogeneização na produção (ABREU et al., 2009; JUHÁSZ et al., 2010). Uma das formas de contribuir para a sua domesticação é o desenvolvimento de novas tecnologias, que visem aperfeiçoar seu manejo, como, por exemplo, a obtenção de mudas selecionadas de matrizes superiores. Para isso, além de conhecer a

fundo a espécie com a qual está trabalhando, o melhorista deve fazer uso de estratégias que possibilitem a obtenção de resultados satisfatórios. Os testes de progênes, instrumentos importantes para o trabalho do melhorista, tem sido usado na estimação de parâmetros genéticos e seleção de indivíduos, quando se procura avaliar a magnitude e a natureza da variância genética disponível com vistas a quantificar e maximizar os ganhos genéticos, utilizando procedimentos de seleção adequados (APIOLAZA et al., 2001; COSTA et al., 2008; FONSECA et al., 2010). Neste contexto, o objetivo deste estudo foi estimar os parâmetros genéticos para os principais caracteres morfológicos, crescimento de plantas e produção de óleo e prover uma fonte de material genético superior para continuidade de programas de melhoramento genético com a espécie.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a instalação do teste de progênes foram colhidas sementes de polinização aberta de *J. curcas* em plantios experimentais e comerciais da EPAMIG, no município de Janaúba, Minas Gerais e de fazendas do município de Jales, São Paulo, assessoradas pela CATI. O teste de progênie foi instalado na Fazenda Experimental São Manoel, localizada no município de São Manuel - SP, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas - FCA/UNESP, Campus de Botucatu. O teste foi instalado no delineamento experimental em blocos casualizados, 30 progênes, três repetições, oito plantas por parcela, totalizando 720 indivíduos. A área foi subsolada e o plantio realizado em covas 70 cm de profundidade e 40 cm de diâmetro. Foram utilizados 3 kg de adubo orgânico mineralizado e 200g de superfosfato simples por cova. Foram avaliados os seguintes caracteres: altura total da planta (ALT); número de ramos/planta (NRP); inflorescência/planta (NINF) e de frutos por planta (NF); massa de frutos (PF) e de sementes (PS) e a determinação do teor de óleo em sementes (TO) por ressonância magnética nuclear (COLNAGO

et al., 1996), aos 36 meses após o plantio. A colheita dos frutos foi realizada de forma manual quando estes se apresentavam desde a cor verde a amarela (Brasil, 1985). Os frutos foram colhidos e pesados para estimar a produção média de frutos de cada progênie. Logo após, foram secos e as suas sementes foram beneficiadas.

As estimativas dos parâmetros genéticos para o teste individual foram analisadas pelo programa SELEGEN (RESENDE 2007), utilizando o modelo 93, pela equação: $y = Xr + Za + Wp + e$, onde γ é o vetor de dados, r é o vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados à média geral, a é o vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (assumidos como aleatórios), p é o vetor dos efeitos de parcela (assumidos como aleatórios), e e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos. X , Z , e W são matrizes de incidência conhecidas, formadas por valores zero e um, as quais associam as incógnitas r , a e p ao vetor de dados γ , respectivamente. A metodologia de modelos mistos permite estimar r pelo procedimento de quadrados mínimos generalizados e prever a e p pelo procedimento BLUP. Através de algoritmos EM realiza-se o procedimento REML ou método da máxima verossimilhança restrita, onde as resoluções de matrizes geram estimativas de efeitos ajustados dos vetores calculados. Foram calculados os seguintes parâmetros genéticos:

a) Variância genética aditiva ($\hat{\sigma}_a^2$);

$$\hat{\sigma}_a^2 = [\hat{a}'A^{-1}\hat{a} + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr}(A^{-1}C^{22})] / q$$

b) Variância ambiental entre parcelas ($\hat{\sigma}_c^2$);

$$\hat{\sigma}_c^2 = [\hat{c}'\hat{c} + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr} C^{33}] / s_1$$

c) Variância residual (ambiental + não aditiva) ($\hat{\sigma}_e^2$);

$$\hat{\sigma}_e^2 = [y'y - \hat{r}'X'y - \hat{a}'Z'y - \hat{c}'W'y] / [N - r(x)]$$

em que: C^{22} e C^{33} vem da inversa de C .

C : matriz dos coeficientes das equações de modelo misto.

tr : operador traço matricial.

$r(x)$: posto da matriz X .

N , q , s : números de dados, de indivíduos e de parcelas, respectivamente.

d) Variância fenotípica individual ($\hat{\sigma}_f^2$):

$$\hat{\sigma}_f^2 = \hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_c^2 + \hat{\sigma}_e^2$$

e) Herdabilidade individual no sentido restrito, ou seja, dos efeitos aditivos:

$$h_a^2 = \frac{\hat{\sigma}_a^2}{\hat{\sigma}_f^2};$$

f) Herdabilidade da média de progênies:

$$h_m^2 = \frac{(1/4)\hat{\sigma}_a^2}{(1/4)\hat{\sigma}_a^2 + \frac{\hat{\sigma}_c^2}{r} + \frac{(0,75\hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_e^2)}{n.r}};$$

g) Herdabilidade aditiva dentro de parcela:

$$h_{ad}^2 = \frac{0,75\hat{\sigma}_a^2}{0,75\hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_e^2};$$

h) Coeficiente de variação genética aditiva individual:

$$CV_{ei}(\%) = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_a^2}}{\hat{m}} \cdot 100;$$

i) Coeficiente de variação genotípica entre progênies:

$$CV_{ep}(\%) = \frac{\sqrt{0,25\hat{\sigma}_a^2}}{\hat{m}} \cdot 100;$$

j) Coeficiente de variação experimental:

$$CV_e(\%) = \frac{\sqrt{[(0,75\hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_e^2) / n] + \hat{\sigma}_c^2}}{\hat{m}} \cdot 100;$$

k) Coeficiente de variação relativa:

$$CV_r = \frac{CV_{ep}}{CV_e};$$

l) Acurácia da seleção de progênies, assumindo sobrevivência completa:

$$r_{aa} = \sqrt{\hat{h}_m^2};$$

m) Tamanho efetivo populacional:

$$N_e = (4N_f \bar{k}_f) / [\bar{k}_f + 3 + (\sigma_{kf}^2 / \bar{k}_f)]$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os coeficientes de variação experimental (CV_e) variaram de 9,8 para teor de óleo (TO%) a 35,0% tanto para número de frutos/planta (NF) como para peso de sementes por progênies (PSP), aos 48 meses de idade (Tabela 1). Os coeficientes de variação experimental para a avaliação da maioria dos caracteres foram altos. Bhering et al. (2012) encontraram valores inferiores a estes, 4,1% e 15,7% para os mesmos caracteres.

A estimativa da herdabilidade em nível de plantas individuais no sentido restrito (0,19; 0,15 e 0,24) e herdabilidade média entre progênies (0,33, 0,27 e 0,41) foram de magnitude mediana para altura. Já para o número de ramos/planta os valores para as herdabilidades individuais e de média de progênies aos 24 meses (0,14 e 0,27) e aos 48 meses (0,18 e 0,31) apresentaram-se de

Tabela 1. Estimativas das herdabilidades, coeficientes de variação e médias dos caracteres altura de planta em metros (ALT), número de ramos/planta (NRP), número de inflorescências/planta (NINF), número de frutos/planta (NF), peso de sementes gramas (PS g), teor de óleo % (TO%) e produção de sementes/progênies gramas (PSP g) para a espécie *Jatropha curcas* aos 12*, 24 e 48 meses.

Table 1. Estimates of heritabilities, variation coefficients and means of plant height in meters (ALT), number of branches/plant (NRP), number of inflorescences/plant (NINF), number of fruits/plant (NF), seed weight in grams (PS g), oil content % (TO%) and production of seed/progeny grams (PSP g) for the species *Jatropha curcas* at 12*, 24 and 48 months.

Parâmetros genéticos e não genéticos	Caracteres analisados									
	12*			48*						
	ALT (m)	ALT (m)	NRP (un.)	ALT (m)	NRP (un.)	NINF (un.)	NF (un.)	PS (g)	TO (%)	PSP (g)
h^2_a	0,19	0,15	0,14	0,24	0,18	0,52	0,13	0,12	0,03	0,13
h^2_{mp}	0,33	0,28	0,28	0,42	0,31	0,77	0,44	0,56	0,37	0,44
h^2_{ad}	0,19	0,15	0,13	0,23	0,19	0,46	0,10	-	-	0,103
$CV_{gi}\%$	24,8	23,0	15,9	14,5	22,3	51,9	36,1	8,7	4,3	36,1
$CV_{gp}\%$	12,4	11,5	8,0	7,3	11,2	25,9	18,1	-	-	18,0
CV_r	0,40	0,36	0,35	0,48	0,39	1,06	0,52	0,65	0,44	0,51
$CV_e\%$	30,3	32,2	22,3	15,0	28,6	24,5	35,0	13,3	9,8	35,0
Médias	0,69	1,09	4,08	1,60	7,40	2,28	6,07	0,525	36,43	47,80

h^2_a = herdabilidade individual no sentido restrito; h^2_{mp} = herdabilidade entre médias de progênies; h^2_{ad} = herdabilidade dentro de progênies; $CV_{gi}\%$ = coeficiente de variação genética aditiva individual; $CV_{gp}\%$ = coeficiente de variação genética entre progênies; $CV_e\%$ = coeficiente de variação experimental; $CV_r = CV_p/CV_{exp}$ = coeficiente de variação relativa.

baixas a médias. Laviola et al. (2010) encontram valores de herdabilidade média de progênies de 0,79 para altura, valor este considerado de alta magnitude, correspondendo aos resultados obtidos neste trabalho.

Os coeficientes de variação genética individual (CV_{gi}) foram maiores que os genéticos de progênies (CV_{gp}) para todos os caracteres avaliados e em todas as idades. Os resultados mostraram que existe variabilidade genética para os caracteres avaliados com potencial uso em programas de melhoramento genético.

O coeficiente de variação relativa (CV_r) apresentou valores entre 0,35 a 0,48 para os caracteres altura e número de ramos nas idades 12, 24 e 48 meses. Os baixos valores de CV_r indica baixo controle genético dos caracteres e muita influência ambiental. Segundo Vencovsky (1978) é recomendável que o CV_r apresente estimativas próximas a 1.

Os resultados das análises aos 48 meses de idade para os caracteres número de inflorescências/planta (NINF) e número de frutos/planta (NF) para a espécie *J. curcas* demonstraram existir variabilidade genética para os caracteres estudados, sendo uma população potencial para obtenção de ganhos por seleção.

Aos 48 meses pós plantio, os coeficientes de variação experimental (CV_e) para os caracteres altura da planta, número de ramos, número de inflorescências e número de frutos apresentaram-se de médios a altos (24,5% e 35,0%), respectivamente. As estimativas das herdabilida-

des individuais no sentido restrito ($h^2_a = 0,52$ e 0,13) e herdabilidade média de progênies ($h^2_{mp} = 0,77$ e 0,44) variaram de baixa a alta magnitude para os caracteres NINF e NF, respectivamente. O número de inflorescências por planta (NINF) apresentou alta herdabilidade, facilitando a seleção, assim como encontrado por Mohapatra et al. (2010) que mostrou uma herdabilidade de 88,8% para este caractere. O número de frutos foi muito influenciado pelo ambiente.

Os coeficientes de variação genética individual ($CV_{gi} = 52$ e 36%) foram maiores que os coeficientes de variação genético de progênies ($CV_{gp} = 25,9$ e 18,1 %) para os caracteres número de inflorescências e de frutos. Os resultados mostraram que existe variabilidade genética para os caracteres avaliados, apontando potencialidade para ganhos na seleção.

As estimativas das herdabilidades individuais no sentido restrito ($h^2_a = 0,12$; 0,03 e 0,13) mostram grande influência ambiental e as herdabilidades médias de progênies ($h^2_{mp} = 0,56$, 0,36 e 0,44) mostram valores relativamente mais altos.

As progênies apresentaram alta variabilidade, como se pode observar para as estimativas do peso médio em gramas (20 sementes) para cada progênie e para a média do teor de óleo % nas progênies de polinização aberta de *J. curcas* (Tabela 2). O destaque ocorre na progênie 2 com teor de óleo de 42%, valor este que esta de acordo com o encontrado por Freitas et al. (2011), que quantificaram teores de óleo entre 16,0 e 45,6%.

Tabela 2. Estimativas do peso médio em gramas (20 sementes) para cada progênie e a média do teor de óleo % (TO %) para as progênies de polinização aberta de *Jatropha curcas*.

Table 2. Estimates of mean weight in grams (20 seeds) for each progeny and the average oil content % (TO%) of open pollinated progenies of *Jatropha curcas*.

Ordem	Progênies	Peso (g) / 20 sementes	Teor de óleo médio (%)
1	1	10,17	39,82
2	2	8,98	41,23
3	3	10,04	36,48
4	4	10,30	38,28
5	6	10,16	32,73
6	7	13,72	40,42
7	10	11,96	39,50
8	11	10,49	38,53
9	14	10,80	38,66
10	15	10,01	34,28
11	16	10,47	39,91
12	17	7,78	24,79
13	18	9,52	37,05
14	19	9,53	35,19
15	20	12,02	38,36
16	21	9,74	40,36
17	23	10,65	40,81
18	26	8,61	31,11
19	27	7,82	34,07
20	29	11,86	37,78
21	30	11,20	37,22
22	31	10,48	33,56
23	32	7,52	29,23
24	33	6,98	30,72
25	34	10,08	35,15
26	35	10,90	39,38
27	36	10,48	37,08
28	37	11,67	36,57
29	38	10,01	37,25
30	39	9,98	37,32
Média Geral		10,13	36,43

Os valores encontrados para as correlações genéticas ($r_g = 0,73$) e fenotípica ($r_f = 0,72$) entre PS (g) x TO (%) para a idade de 48 meses foram altos, 0,73 e 0,72 respectivamente, mostrando que a seleção para qualquer um dos caracteres pode resultar em resposta correlacionada no outro caráter (RESENDE, 1991). Portanto, será mais fácil selecionar para teor de óleo sem prejudicar a produção de grãos. Estes resultados estão de acordo com valores encontrados por Brasil (1985) e Dias et al. (2007), para o teor de óleo, que representam entre 0,53 e 0,79 do peso do fruto.

A seleção dos 20 melhores indivíduos para produção de sementes/progênies gramas (PSP) para o estabelecimento de um pomar de sementes poderá levar a um ganho genético de 15,64

g sobre a média geral (47,80 g), e a média da população melhorada em uma próxima geração de plantio na mesma idade e condições ambientais do presente teste poderá ser de 63,44 g. O ganho genético será de 33%. Os 20 indivíduos selecionados estão associados a um tamanho efetivo ou genético de população igual a 14,34 g. Esse valor refere-se ao número equivalente em termos de indivíduos não aparentados e não endogâmicos. O número efetivo ($N_e = 14$) é menor do que o número físico (20) porque vários desses indivíduos são da mesma progênie, por exemplo, a progênie 26 contribuiu com cinco indivíduos. Com esse N_e , o coeficiente de endogamia associado às sementes produzidas no pomar foi 3,6% ($F = [1/(2N_e)]$). Uma otimização da seleção com restrição no N_e pode reduzir esse coeficiente de endogamia.

As melhores progênies para produção de sementes/progênies gramas (PSP) foram as progênies 3 e 26, que apresentaram teor de óleo de 36 e 31%, respectivamente. A população estudada de pinhão manso apresenta boa variabilidade genética para o caráter estudado (PSP), mostrando grande potencial para ganhos em gerações avançadas de melhoramento, sendo que 13 progênies apresentam média de produção acima da média da população estudada. Cabe ressaltar que, quando se considera a classificação para as melhores progênies para produção de sementes/progênies gramas (PSP) e teor de óleo % (TO), as melhores foram as progênies 7 (13,72 g e 40,42%) e 23 (10,65 g e 40,81%).

CONCLUSÕES

A população estudada de *J. curcas* apresenta variabilidade genética, o que pode proporcionar ganhos para as gerações avançadas de melhoramento, mostrando potencialidades para a seleção de progênies visando produção de grãos e aumento no teor de óleo.

É possível encontrar, nesta população, material genético superior para o teor de óleo com ótima correlação com a produção de sementes por planta.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais por cederem o material para este estudo e a FAPESP pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, F. B.; RESENDE, M. D. V.; ANSELMO, J. L.; SATURNINO, H. M.; BRENHA, J. A. M.; FREITAS, F. B. Variabilidade genética entre acessos de pinhão-manso na fase juvenil. *Magistra*, Cruz das Almas, v. 21, n. 1, p. 36-40, 2009.
- AKBAR, E.; YAAKOB, Z.; KAMARUDIN, S. K.; ISMAIL, M.; SALIMON, J. Characteristic and Composition of *Jatropha curcas* Oil Seed from Malaysia and its Potential as Biodiesel Feedstock. *European Journal of Scientific Research*, v. 29, n. 3, p. 396-403, 2009.
- AKOWUAH, J. O.; ADDO, A.; KEMAUSUOR, F. Influence of Storage Duration of *Jatropha curcas* Seed on Oil Yield and Free Fatty Acid Content. *Journal of Agricultural & Biological Science*, Adelaide, v. 7, n. 1, p. 41-45, 2012.
- APIOLAZA, L. A.; GARRICK, D. J. Analysis of longitudinal data from progeny tests: some multivariate approaches. *Forest Science*, Bethesda, v. 47, p. 129-140, 2001.
- ARRUDA, F. P.; BELTRÃO, N. E. M.; ANDRADE, A. P.; PEREIRA, W. E.; SEVERINO, L. S. Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) como alternativa para o semi-árido nordestino. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas*, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 789-799, 2004.
- BHERING, L. L.; LAVIOLA, B. G.; SALGADO, C. C.; SANCHEZ, C. F. B.; ROSADO, T. B.; ALVEZ, A. A. Genetic Gains in physic nut using selection indexes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 47, n. 3, p. 402-208, 2012.
- BRASIL. Ministério da Indústria e do Comércio. Secretária de Tecnologia Industrial. **Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais**. Brasília: STI/CIT, 1985. 364 p. (Documentos, n. 16).
- COLNAGO, L. A.; MARTIN-NETO, L.; BISCEGLI, C. I.; NASCIMENTO, O. R.; BONAGAMBA, T. J.; PANEPUCCHI, H.; VIEIRA, E. M.; SEIDEL, P. R.; SPOSITO, G.; OPELLA, S. J. Aplicações da ressonância magnética nuclear (RMN) e ressonância paramagnética eletrônica (EPR). In: CRESTANA, S.; CRUVINEL, P. E.; MASCARENHAS, S.; BISCEGLI, C. I.; MARTIN-NETO, L.; COLNAGO, L. A. (Ed.) **Instrumentação agropecuária: contribuições no limiar do novo século**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1996. Cap. 1, p. 15-50.
- COSTA, R. B.; RESENDE, M. D. V.; GOLÇALVES, P. S.; CHICHORRO, J. F.; ROA, R. A. R. Variabilidade genética e seleção para caracteres de crescimento da seringueira, *Bragantia*, Campinas, v. 67, n. 2, p. 299-305, 2008.
- 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.; DIAS, D. C. F. S. **Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) para produção de óleo combustível**. Viçosa, 2007, v.1, 40 p.
- DURÃES, F. O. M.; LAVIOLA, B. G.; ALVES, A. A. 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*, v. 6, p. 1-8, 2011.
- FONSECA, S. M.; RESENDE, M. D. V.; ALFENAS, A. C.; GUIMARÃES, L. S. M.; ASSIS, T. F.; GRATTAPAGLIA, D. **Manual Prático de Melhoramento Genético do Eucalipto**. Viçosa: UFV, 2010. 194 p.
- FREITAS, R. G.; MISSIO, R. F.; MATOS, F. S.; RESENDE, M. D. V.; DIAS, L. A. S. Genetic evaluation of *Jatropha curcas*: an important oilseed for biodiesel production. *Genetics and Molecular Research*, Ribeirão Preto, v. 10, n. 3, p. 1490-1498, 2011.
- GARDNER, J. C.; QUINN, N. W. T.; GERPEN, J. V. Oilseed and Algal Oils as Biofuel Feedstocks. **Sustainable Alternative Fuel Feedstock Opportunities, Challenges and Roadmaps for Six U.S. Regions**, Ankeny, 2010, Cap. 8, p.121-148.
- GUBITZ, G. M.; MITTELBACK, M.; TRABI, M. Exploitation of the tropical oil seed plant *Jatropha curcas* L.. *Bioresource Technology*, Philadelphia, v. 67, n. 1, p. 73-82, 1999.
- JUHÁSZ, A. C. P.; MORAIS, D. L. B.; SOARES, B. O.; PIMENTA, S.; RABELLO, H. O.; RESENDE, M. D. V. Parâmetros genéticos e ganhos de seleção para populações de pinhão manso (*Jatropha curcas*). *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 30, n. 61, p. 25-35, 2010.
- 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*, Brasília, v. 45, n. 10, p. 1117-1123, 2010.

- OPENSHAW, K. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. **Biomass & Bioenergy**, Philadelphia, v. 19, n. 1, p. 1-15, 2000.
- MOHAPATRA, S.; PANDA, P. K. Genetic variability on growth, phenological and seed characteristics of *Jatropha curcas* L. **Notulae Scientia Biologicae**, Cluj-Napoca, v. 2, n. 2, p. 127-132, 2010.
- RESENDE, M. D. V. Correções nas expressões do progresso genético com seleção em função da amostragem finita dentro de famílias de populações e implicações no melhoramento florestal. **Boletim Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 22/23, p. 61-77, 1991.
- RESENDE, M. D. V. **SELEGEN-REML/BLUP**: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 359 p.
- TOMINAGA, N.; KAKIDA, J.; YASUDA, E. K. **Cultivo de pinhão-mansão para produção de biodiesel**. Viçosa: CPT, 2007. 220 p.
- VALDES, R. O. A.; SANCHEZ, S. O.; PEREZ, V. A.; RUIZ, B. R. Soil texture effects on the development of *Jatropha curcas* seedlings - Mexican variety 'Piñon manso', **Biomass & Bioenergy**, Philadelphia, v. 35, n. 8, p. 3529-3536, 2011.
- VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E. **Melhoramento de milho no Brasil**. Piracicaba: Fundação Cargill, 1978. p. 122-99.

Recebido em 16/02/2014

Aceito para publicação em 10/11/2014

