

POLIANE MARCELE RIBEIRO CARDOSO

**CONTROLE GENÉTICO DE CARACTERES E SELEÇÃO EM**  
***Jatropha curcas* L.**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2014

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da  
Universidade Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

C266c  
2014

Ribeiro Cardoso, Poliane Marcele, 1980-  
Controle genético de caracteres e seleção em *Jatropha  
curcas* L. / Poliane Marcele Ribeiro Cardoso. - Viçosa, MG,  
2014.  
vii, 43f. : il. ; 29 cm.

Orientador : Luiz Antônio dos Santos Dias.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Pinhão manso. 2. Plantas - Melhoramento genético.  
3. Biodiesel. 4. Bioquerosene. I. Universidade Federal de  
Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Programa de  
Pós-graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 633.85

POLIANE MARCELE RIBEIRO CARDOSO

**CONTROLE GENÉTICO DE CARACTERES E SELEÇÃO EM  
*Jatropha curcas* L.**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 22 de agosto de 2014.

---

Marcos Deon Vilela de Resende

---

Robson Fernando Missio

---

Felipe Lopes da Silva

---

Rodrigo Oliveira de Lima

---

Luiz Antônio dos Santos Dias  
(Orientador)

Aos meus queridos pais  
Luíz Carlos Ribeiro (*in memoriam*)  
e Ângela Maria Stampini Ribeiro,  
a minha irmã Priscila Michelle Ribeiro,  
e a minha avó Luzia Maria Stampini,

**DEDICO.**

Aos amores da minha vida  
meu marido Adans Nogueira Cardoso  
e meu filho Gael Ribeiro Cardoso,

**OFEREÇO.**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela presença constante em minha vida.

A toda minha família, em especial o meu adorado filho Gael Ribeiro Cardoso e meu marido Adans Nogueira Cardoso, os quais privei de minha presença nos muitos momentos desde que ingressei no doutorado, até a conclusão desta tese. A minha mãe Ângela Maria Stampini Ribeiro, o meu padrasto Walter da Costa Baeta e a minha irmã Priscila Michelle Ribeiro, pelo apoio sempre presente.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela oportunidade de realizar este curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Professor Luiz Antônio dos santos Dias, pela amizade e pelos ensinamentos e orientação dedicados.

Ao Dr. Marcos Deon Vilela de Resende, pela amizade e valiosa contribuição nas análises estatísticas.

Aos Professores Robson Fernando Missio (UFPR), Felipe Lopes da Silva (UFV) e Rodrigo Oliveira de Lima (UFV), pelas sugestões apresentadas.

À amiga Dra. Waldênia de Melo Moura, pesquisadora da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG/UREZM), por ter me iniciado na carreira científica.

Aos amigos do grupo *Jatropha* pela amizade e alegre convívio. Nesses quatro anos, foram muitas as pessoas que contribuíram com a condução do experimento que proporcionou a elaboração deste trabalho, sendo impossível listar todas. Sou grata a todas elas.

À querida amiga Martha Freire, pela amizade, presteza e incentivo nos momentos de dificuldades.

A todos os funcionários dos campos experimentais da UFV em Araponga, MG e Vale da Agronomia, em Viçosa pela amizade e pronto atendimento na condução dos experimentos.

Enfim, a todos aqueles que contribuíram de alguma forma, para a realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

POLIANE MARCELE RIBEIRO CARDOSO, filha de Luiz Carlos Ribeiro e Ângela Maria Stampini Ribeiro, nasceu em 13 de maio, de 1980, no município de Visconde do Rio Branco, MG. Naturalizada viçosense, concluiu o ensino médio em 1998, na Escola Estadual Dr. Raimundo Alves Torres (ESED RAT), em Viçosa, MG. Em maio de 2002 ingressou no curso de Agronomia na Universidade Federal de Viçosa (UFV). Durante a graduação, foi bolsista de Iniciação Científica na Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG/UREZM). Concluiu o curso em fevereiro de 2007, onde iniciou sua vida profissional como Engenheira Agrônoma, bolsista da Embrapa Café. Em março de 2008, ingressou no curso de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), em Campos dos Goytacazes, RJ. Em agosto de 2010 iniciou o curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia na UFV, submetendo-se a defesa de tese em 22 de agosto de 2014.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>vii</b>
<b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>1</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>4</b>
<b>Capítulo I: Estimativas de parâmetros genéticos em famílias de polinização aberta de <i>Jatropha curcas</i> L.....</b>	<b>7</b>
1. RESUMO.....	8
2. ABSTRACT.....	9
3. INTRODUÇÃO.....	10
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
6. CONCLUSÕES.....	21
7. REFERÊNCIAS.....	22
<b>Capítulo II: Seleção e predição de ganhos genéticos em famílias de polinização aberta de <i>Jatropha curcas</i> L.....</b>	<b>25</b>
1. RESUMO.....	26
2. ABSTRACT.....	27
3. INTRODUÇÃO.....	28
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
6. CONCLUSÕES.....	39
7. REFERÊNCIAS.....	40
<b>CONCLUSÕES GERAIS.....</b>	<b>43</b>

## RESUMO

CARDOSO, Poliane Marcelle Ribeiro, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2014. **Controle genético de caracteres e seleção em *Jatropha curcas* L.** Orientador: Luiz Antônio dos Santos Dias.

*Jatropha curcas* L. é uma das oleaginosas mais promissoras para biodiesel e bioquerosene. Por ser um cultivo perene ainda incipiente, a avaliação da produtividade é importante para o seu melhoramento genético. As estimativas de parâmetros genéticos são importantes para a caracterização da estrutura genética da população, para o controle genético dos caracteres e para a predição dos ganhos com seleção. O presente estudo avaliou o potencial de produtividade de 121 famílias de *J. curcas*, com 48 e 60 meses, em dois anos de produção (2012/13 e 2013/14). O experimento foi instalado em Araponga, MG, em látice 11 x 11, com três repetições e quatro plantas por parcela, totalizando 1452 plantas, no espaçamento de 2 x 2 m. Os caracteres avaliados foram produtividade de frutos (PF), de grãos (PG) e de óleo (PO), em kg ha<sup>-1</sup>, percentual de casca (PC) e teor de óleo da semente (TO), em %. Processaram-se a estimação de parâmetros genéticos (capítulo I) e a predição dos ganhos genéticos com a seleção de indivíduos e clones (capítulo II). Os resultados evidenciaram a existência de variabilidade genética entre as famílias. A análise conjunta dos dois anos de produção revelou herdabilidades individuais ( $h_a^2$ ) de moderadas magnitudes, entre 0,19 e 0,23, o que proporcionou uma precisão adequada para a seleção de todos os caracteres, exceto para PC que apresentou baixa herdabilidade (0,08). Repetibilidades moderadas foram apresentadas para PF (0,54), PG (0,52), TO (0,30) e PO (0,51), indicando que as famílias avaliadas mantiveram a superioridade relativa ao longo dos anos. Com a seleção dos 20 melhores indivíduos os ganhos genotípicos preditos (66%) apresentaram-se, superiores aos ganhos genéticos aditivos (56%), indicando maiores possibilidades de sucesso com a implantação de plantios clonais.



## ABSTRACT

CARDOSO, Poliane Marcele Ribeiro, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2014. **Genetic control of characters and selection of *Jatropha curcas* L.** Adviser: Luiz Antônio dos Santos Dias.

*Jatropha curcas* L. is one of the most promising oilseed for biodiesel and biokerosene. For being a perennial cultivation still incipient, the assessment of its productivity is important to genetic improvement. Estimates of genetic parameters are important for the characterization of the genetic structure of the population, to the genetic control of the traits and for the prediction of gains with selection. The present study evaluated the potential productivity of 121 families of *J. curcas*, with 48 and 60 months, in two years of production (2012/13 and 2013/14). The trial was set up in Araponga, Minas Gerais, in lattice 11 x 11, with three repetitions and 4-plant plots, totaling 1452 plants, in 2 x 2 m spacing. The traits evaluated were productivity of fruits (PF), grains (PG) and oil (PO), in kg ha<sup>-1</sup>, percentage of shell (PS) and seed oil content (OC), in %. It was processing the genetic parameters estimation (chapter I) and the prediction of genetic gains with the selection of individuals and clones (chapter II). The results showed the existence of genetic variability among families. The joint analysis of two years of production revealed individual heritabilities ( $h_a^2$ ) of moderate magnitudes, between 0.19 and 0.23, which provided an adequate accuracy for all characters, except for PS that showed low heritability (0.08). Moderate repeatabilities were presented for PF (0.54), PG (0.52), OC (0.30) and PO (0.51), indicating that families evaluated retained the relative superiority over the years. With the selection of the 20 best individuals the genotypic gains predicted (66%) were superior to the additive genetic gains (56%), indicating greater possibilities of success with the clonal plantations.

## INTRODUÇÃO GERAL

É notório ao mundo os efeitos decorrentes das mudanças climáticas globais e com eles a preocupação em utilizar combustível limpo e renovável. Motivado pela necessidade de se reduzir a dependência do petróleo e pelo desenvolvimento sustentável, o mercado de biodiesel encontra-se em ascensão. Nesse sentido, *Jatropha curcas* L. tem sido objeto de estudo de vários pesquisadores para viabilizar a sua produção de óleo para biodiesel. Comparada a outras oleaginosas alternativas à produção de biodiesel, *J. curcas* apresenta vantagens por não ser uma espécie alimentar, ter potencial de rendimento para grãos e óleo, além de características físico-químicas de óleo favorável à produção de biodiesel (DIAS, 2011).

*Jatropha curcas*, conhecida como pinhão-mansão, pertence à família das Eufhorbiaceas (CORTESÃO, 1957). Com base em registros históricos e conceitos genéticos DIAS et al. (2012) constataram que tanto o centro de origem quanto o de domesticação de *J. curcas* é o México. No Brasil, esses últimos autores ainda propuseram o norte de Minas Gerais como centro secundário de diversidade da espécie. No território brasileiro, a espécie é difundida de 0 a 1000 metros de altitude, tendo mostrado melhor desenvolvimento na região dos trópicos com precipitação entre 300 e 1000 mm (LAVIOLA e DIAS, 2008).

O pinhão manso é considerado uma espécie perene, não tradicional, pois nunca foi cultivado e utilizado em larga escala (JUHÁSZ et al. 2013). Pertence ao grupo das frutíferas industriais, em que os frutos originam produtos que têm uso após sofrer processamento industrial, ou seja, os frutos não são usados *in natura* (JUHÁSZ et al. 2013). Trata-se de arbusto de crescimento rápido, que pode atingir de 3 a 5 m de altura, com diâmetro do tronco de até 20 cm (DIAS et al. 2007; ACHTEN et al. 2008). O tronco é liso, de lenho mole, dividido desde a base, em compridos ramos, com numerosas cicatrizes produzidas pela queda das folhas na estação seca (CORTESÃO, 1957). Apresenta aspecto suculento que auxilia como tampão hídrico para a planta em condição de estresse hídrico, além de exsudar um látex cáustico com propriedades medicinais cicatrizantes e pesticidas (DIAS et al. 2007). Suas folhas são verdes e brilhantes, largas e alternas, com três a cinco lóbulos e pecioladas, com nervuras esbranquiçadas e salientes na face inferior. O sistema radicular é do

tipo pivotante, com uma raiz axial que pode atingir 5 m de profundidade, com a formação de até quatro raízes laterais (HELLER 1996; DIAS et al. 2007). A planta exige nutrientes em grandes quantidades, principalmente nitrogênio e potássio (LAVIOLA e DIAS, 2008).

*J. curcas* é uma espécie predominantemente alógama, monóica, com flores unissexuais femininas rodeadas por masculinas na mesma inflorescência (LIU et al. 2008), podendo ocorrer ainda flores hermafroditas (DEHGAN e WEBSTER, 1979). Suas inflorescências possuem cerca de 100-300 flores, com rendimento médio de 10 frutos (RAO et al. 2008). Esta baixa produção ocorre possivelmente em função da baixa proporção de flores femininas em relação a flores masculinas, da ordem de 1:12 (BRASILEIRO et al. 2012) e 1:13 a 1:29 (RAJU e EZRADANAM 2002; TEWARI et al. 2007). O fruto é capsular ovóide, com diâmetro de 1,5 a 3,0 cm, trilocular, formado por um pericarpo ou casca dura lenhosa e indeiscente. Os frutos são verdes, amarelos quando maduros, passando por castanhos e finalmente pretos quando secos. A semente é relativamente grande, medindo entre 1,5 e 2,0 cm de comprimento e 1,0 a 1,3 cm de largura e seu peso varia de 0,5 a 0,8 gramas, apresentando de 33 a 38% de óleo (DIAS et al. 2007).

No primeiro ano de cultivo, já se tem o início da produção dos frutos, mas o clímax produtivo é obtido apenas a partir do quarto ano, com capacidade potencial produtiva de até 40 anos (LAVIOLA e DIAS, 2008). Em relação à produtividade de grãos de *J. curcas*, a expectativa inicial era que o cultivo produziria em torno de 6000 Kg.ha<sup>-1</sup>, com 5 anos de idade. No entanto, produtividades inferiores estão sendo obtidas em diferentes condições edafoclimáticas, principalmente em razão de limitações hídricas ou do ataque de pragas e doenças. Segundo DIAS et al. (2012), projeções de produtividade baseadas em observações isoladas, ou de plantas com poucos meses de plantio, contribuíram para criar expectativas de produtividade que não têm sido observadas em campo. A baixa produção de grãos, a desuniformidade na maturação dos frutos e a inexistência de cultivares melhorados de maior rendimento de grãos limitam a competitividade desse cultivo (DIAS et al. 2007).

O melhoramento do pinhão-mansão, considerado como uma planta em domesticação (LAVIOLA et al. 2010; FREITAS et al. 2011), é ainda incipiente.

A existência de variabilidade genética na população é premissa básica para a obtenção de ganhos com a seleção. Nesse sentido, instrumentos importantes

para o trabalho do melhorista têm sido as estimativas de parâmetros genéticos e a predição do ganho genético com a seleção de famílias e indivíduos. Para tanto, a metodologia de avaliação genética REM/BLUP vem sendo utilizada em diversos trabalhos de avaliação de famílias, populações e clones de *J. curcas* (ABREU et al. 2009; JUHÁSZ et al. 2010; FREITAS et al. 2011; LAVIOLA et al. 2012; ROCHA et al. 2012; BORGES et al. 2014).

O presente trabalho teve como objetivos: i) a estimação de parâmetros genéticos para a caracterização da estrutura genética da população de *Jatropha curcas* e controle genético dos caracteres individualmente e no conjunto de dois anos de produção (capítulo I) e; ii) a predição dos ganhos genéticos com a seleção de indivíduos e clones, no conjunto de dois anos de produção (capítulo II).

## REFERÊNCIAS

ABREU, F. B.; RESENDE, M. D. V. de; ANSELMO, J. L.; SATURNINO, H. M.; BRENHA, J. A. M.; FREITAS, F. B. Variabilidade Genética entre acessos de pinhão-manso na fase juvenil. **Magistra**, v. 21, n.1, p. 36-40, 2009.

ACHTEN, W. M. J.; VERCHOT, L.; FRANKEN, Y. J.; MATHIJS, E.; SINGH, V. P.; AERTS, R.; MUYS, B. *Jatropha* bio-diesel production and use. **Biomass and bioenergy**, v. 32, n. 12, p. 1063-1084, 2008.

BORGES, C. V.; FERREIRA, F. M.; ROCHA, R. B.; SANTOS, A. R.; LAVIOLA, B. G. Productive capacity and genetic progress of physic nut. **Ciência Rural**, v. 44, n. 1, p. 64-70, 2014.

BRASILEIRO, B. G.; DIAS, D. C. F. S.; BHERING, M. C.; DIAS, L. A. S. Floral biology and characterization of seed germination in physic nut (*Jatropha curcas* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 4, p. 556-560, 2012.

CORTESÃO, M. **Culturas tropicais: plantas oleaginosas**. 1957. 231 p.

DEHGAN, B.; WEBSTER, G. L. **Morphology and infrageneric relationships of the genus *Jatropha* (Euphorbiaceae)**. Univ of California Press, 1979. 1-73 p.

DIAS, L. A. S.; LEME, L.; LAVIOLA, B.; PALLINI FILHO, A.; PEREIRA, O.; CARVALHO, M.; MANFIO, C.; SANTOS, A.; SOUSA, L.; OLIVEIRA, T. Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) para produção de óleo combustível. **Viçosa, MG**, v. 1, p. 1-40, 2007.

DIAS, L. A. S. Biofuel plant species and the contribution of genetic improvement. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 11, n. SPE, p. 16-26, 2011.

DIAS, L. A. S.; MISSIO, R. F.; DIAS, D. C. F. S. Antiquity, botany, origin and domestication of *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae), a plant species with potential for biodiesel production. **Genetic and Molecular Research**, v. 11, n. 3, p. 2719-2728, 2012.

FREITAS, R. G.; MISSIO, R. F.; MATOS, F. S.; RESENDE, M. D.; DIAS, L. A. Genetic evaluation of *Jatropha curcas*: an important oilseed for biodiesel production. **Genet Mol Res**, v. 10, n. 3, p. 1490-1498, 2011.

HELLER, J. **Physic nut (*Jatropha curcas*): promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops**. Rome: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, 1996. 66 p.

JUHÁSZ, A. C. P.; MORAIS, D. L. B.; SOARES, B. O.; PIMENTA, S.; OLIVEIRA RABELLO, H.; RESENDE, M. D. V. Parâmetros genéticos e ganho com a seleção para populações de pinhão manso (*Jatropha curcas*). **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 61, p. 25, 2010.

JUHÁSZ, A. C. P.; RESENDE, M. D. V.; LAVIOLA, B. G.; COSTA, M. R. Melhoramento genético de *Jatropha curcas*: considerações e metodologias. In. **Pinhão-Manso** ed. Nova Porteirinha: EPAMIG - Capítulo em livro técnico-científico (ALICE), 2013. cap. 89-152, p. 524.

LAVIOLA, B. G.; DIAS, L. A. S. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-manso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 05, p. 1969-1975, 2008.

LAVIOLA, B. G.; ROCHA, R. B.; KOBAYASHI, A. K.; ROSADO, T. B.; BHERING, L. L. Genetic Improvement of *Jatropha* for Biodiesel Production. **Ceiba**, v. 51, n. 1, p. 1-10, 2010.

LAVIOLA, B. G.; ALVES, A. A.; GURGEL, F. L.; ROSADO, T. B.; ROCHA, R. B.; ALBRECHT, J. C. Estimates of genetic parameters for physic nut traits based in the germplasm two years evaluation. **Ciência Rural**, v. 42, n. 3, p. 429-435, 2012.

LIU, H.; DENG, Y.; LIAO, J. Floral organogenesis of three species of *Jatropha* (Euphorbiaceae). **J Syst Evol**, v. 46, n. 1, p. 53, 2008.

RAJU, A. S.; EZRADANAM, V. Pollination ecology and fruiting behaviour in a monoecious species *Jatropha curcas* L.(Euphorbiaceae). **Current Science**, v. 83, n. 11, p. 1395-1397, 2002.

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**, v. 22, n. 5, p. 697-709, 2008.

ROCHA, R. B.; RAMALHO, A. R.; TEIXEIRA, A. L.; LAVIOLA, B. G.; SILVA, F. C. G.; MILITÃO, J. S. L. T. Eficiência da seleção para incremento do teor de óleo do pinhão-mansão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 1, p. 44-50, 2012.

TEWARI, J. P.; DWIVEDI, H. D.; PATHAK, M.; SRIVASTAVA, S. K. Incidence of a mosaic disease in *Jatropha curcas* L. from eastern Uttar Pradesh. **Current Science**, v. 93, n. 8, p. 1048-1049, 2007.

## **CAPÍTULO I**

**Estimativas de parâmetros genéticos em famílias de polinização aberta de  
*Jatropha curcas* L.**



## 1. RESUMO

*Jatropha curcas* L. é uma das oleaginosas mais promissoras para biodiesel e bioquerosene, e a espécie encontra-se em processo de melhoramento genético. Neste estudo, avaliou-se a variabilidade de famílias em plantas com 48 e 60 meses de cultivo, em dois anos de produção (2012/13 e 2013/14). Estimaram-se parâmetros genéticos para produtividades de frutos (PF), de grãos (PG) e de óleo (PO), em  $\text{kg ha}^{-1}$ , percentual de casca (PC) e teor de óleo da semente (TO), em %, em 121 famílias, individualmente ou no conjunto dos dois anos de produção. O experimento foi instalado em Araponga, MG, em látice 11 x 11, com três repetições e quatro plantas por parcela, totalizando 1452 plantas, no espaçamento de 2 x 2 m. O primeiro ano de produção não apresentou situação favorável para a estimação, com estimativas de parâmetros genéticos de baixas magnitudes. O segundo ano favoreceu a seleção com base nos caracteres PF, PG e PO, com valores moderados de  $h_a^2$  (0,38; 0,38 e 0,43, respectivamente) e altos para  $CV_{gi}$  (45,72%; 46,61% e 52,02%, respectivamente). A análise conjunta dos dois anos apresentou estimativas de magnitudes intermediárias àquelas obtidas em 2012/13 e 2013/14. Repetibilidades moderadas ( $r > 0,51$ ) apresentadas para PF, PG e PO, indicaram que as famílias avaliadas mantiveram relativa superioridade ao longo dos dois anos.

**Palavras chaves:** Pinhão manso, biodiesel, bioquerosene, variabilidade, repetibilidade.

## 2. ABSTRACT

*Jatropha curcas* L. is one of the most promising oilseed for biodiesel and biokerosene, and the species is in the process of genetic improvement. In this study, the variability of plant families with 48 and 60 months of cultivation, in two years of production (2012/13 and 2013/14), was evaluated. Estimated genetic parameters for productivity of fruit (PF), grains (PG) and oil (PO), in  $\text{kg ha}^{-1}$ , percentage of shell (PS) and seed oil content (OC), in 121 families, individually or as a whole of two years of production. The trial was set up in Araponga, Minas Gerais, in lattice 11 x 11, with three repetitions and 4-plant plots, totaling 1452 plants, in 2 x 2 m spacing. The first year of production did not provide favorable situation for the estimation of genetic parameters, with estimates of low magnitudes. The second year favored the selection on the basis of the traits PF, PG and PO, with moderate values for  $h_a^2$  (0.38, 0.43, and 0.38, respectively) and high for  $CV_{gi}$  (45.72; 46.61 and 52.02, respectively). The joint analysis of two years presented estimates of intermediate magnitudes to those obtained in 2012/13 and 2013/14. Moderate repeatabilities ( $r > 0.51$ ) presented to PF, PG and PO, indicated that the families evaluated remained relative superiority over the two years.

**Key words:** Physic nut, biodiesel, biokerosene, variability, repeatability.

### 3. INTRODUÇÃO

O aumento de CO<sub>2</sub> na atmosfera durante as últimas décadas tem promovido um crescente interesse em utilizar combustível limpo e renovável. Assim, o mercado de biocombustíveis encontra-se em ascensão, motivado pela necessidade de reduzir a dependência do petróleo e seus derivados e optar pelo desenvolvimento sustentável. O Brasil apresenta grande potencial para produção de biocombustíveis líquidos em grande parte de sua extensão territorial, em função de suas características edafoclimáticas, biodiversidade (várias espécies potenciais para produção de biocombustíveis adaptadas a diferentes climas e biomas), disponibilidade de área e mão-de-obra, bem como comprovada competência técnica no campo da ciência agrícola (DIAS et al. 2008).

As principais matérias-primas utilizadas para produção do biocombustível biodiesel no Brasil são soja, gordura animal e algodão, com contribuições de 81%, 13% e 4%, respectivamente, sendo os outros materiais responsáveis por apenas 2% dessa produção (ANP, 2013). Existe a necessidade, portanto, de diversificar a produção de matérias-primas para produção de biodiesel por meio da introdução de espécies promissoras, como *Jatropha curcas* L.. Comparada as outras oleaginosas alternativas para produção de biodiesel, *J. curcas* apresenta como vantagens o fato de não ser uma espécie alimentar e ter alto potencial de rendimento para grãos (5 t.ha<sup>-1</sup>) e óleo (1,9 t.ha<sup>-1</sup>). Além disso, o óleo tem propriedades excelentes para a produção de biodiesel, como o alto teor de ácido oléico (DIAS, 2011). Apesar de suas potencialidades, é importante ressaltar que essa espécie ainda se encontra em processo de domesticação (LAVIOLA et al. 2010; FREITAS et al. 2011). A baixa produção de grãos, a desuniformidade na maturação dos frutos e a inexistência de cultivares melhorados de maior rendimento de grãos limitam a competitividade desse cultivo (DIAS et al. 2007). Sendo assim, pouco se conhece da sua estrutura genética. Com isso, fazem-se necessários estudos voltados para a estimação de parâmetros genéticos que viabilizem a utilização da variabilidade existente nos programas de melhoramento.

Alguns estudos de parâmetros genéticos em *J. curcas* são relatados (RAO et al. 2008, ROCHA et al. 2012, SPINELLI et al. 2012, BHERING et al. 2013 e

SHABANIMOFRAD et al. 2013), com a planta em diferentes estádios de desenvolvimento.

O objetivo deste trabalho foi estimar parâmetros genéticos para produtividades de frutos, grãos e óleo, percentual de casca e teor de óleo da semente, avaliados em 121 famílias de *Jatropha curcas* L., avaliadas com 48 e 60 meses, individualmente ou no conjunto de dois anos de produção.

#### **4. MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi instalado em Dezembro de 2008, no campo experimental da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Araponga, MG, para a avaliação do desempenho de 121 famílias (com uma testemunha) de polinização aberta, assumidas meias-irmãs. O delineamento experimental utilizado foi o Látice 11 x 11, no espaçamento 2 X 2 m, com três repetições e quatro plantas por parcela, totalizando 1452 plantas. As famílias foram selecionadas fenotipicamente, com base no porte, sanidade e carga de frutos, em uma plantação comercial de seis mil plantas, no município de Viçosa, MG. A testemunha constitui-se do material mais plantado. As sementes que originaram essas matrizes foram adquiridas do pioneiro produtor Nagashi Tominaga, que produziu e distribuiu sementes delas em todo o Brasil. As práticas de manejo basearam-se nas recomendações de DIAS et al. (2007).

Os caracteres avaliados nos anos de produção 2012/13 e 2013/14 que corresponderam, respectivamente, ao quarto e quinto ano de cultivo (plantas com 48 e 60 meses), foram: produtividade frutos (PF), grãos (PG), com umidade de 11% e óleo (PO), em  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , percentual de casca (PC) e teor de óleo da semente (TO), em %.

Na avaliação da PF, a colheita dos frutos foi realizada em estágio final de maturação. Frutos maduros de coloração amarela e marron foram colhidos nos cachos e no chão, ao redor da planta. Em seguida, os frutos foram secos a 60 °C em estufa de circulação forçada de ar por 48 horas. Após serem pesadas e anotadas as produções de frutos de cada planta, estes foram beneficiados e quantificados quanto à PG. Uma amostra aleatória de 100 frutos foi pesada a fim de quantificar o PC pela expressão [(peso da casca de 100 frutos/peso de 100 frutos) x 100]. Em seguida, foi avaliado o caractere de semente, TO, em %, pelo método de ressonância magnética nuclear (*Oxford Instruments*), no

laboratório de Melhoramento de Oleaginosas, no Departamento de Fitotecnia da UFV. Posteriormente, foi obtido o caractere PO, pela expressão [(PG x TO)/100].

As análises estatísticas foram processadas utilizando o *software* Selegen-REM/BLUP (RESENDE, 2002a). As equações de modelos mistos utilizadas para resolver os modelos genéticos apresentados abaixo são descritos em detalhe em RESENDE (2007a).

Para cada ano de produção, foi processado o modelo 6, no caso, envolvendo famílias de meias-irmãs, no delineamento em látice, com várias plantas por parcela. O modelo estatístico adotado foi:

$$y = Xr + Za + Wp + Tb + e, \text{ em que:}$$

$y$ : vetor de dados;

$r$ : vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados à média geral;

$a$ : vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (assumidos como aleatórios);

$p$ : vetor dos efeitos de parcela (assumidos como aleatórios);

$b$ : vetor dos efeitos de blocos (assumidos como aleatórios);

$e$ : vetor de erros ou resíduos (aleatórios).

As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

Para análise conjunta dos anos de produção, baseados em repetibilidade e dados longitudinais, foi utilizado o modelo para famílias meias-irmãs, no delineamento em látice, com várias plantas por parcela, um só local, medidas repetidas (modelo 67). O modelo estatístico adotado foi:

$$y = Xm + Za + Wp + Qs + Tb + e, \text{ em que:}$$

$y$ : vetor de dados;

$m$ : vetor dos efeitos das combinações medição-repetição (assumidos como fixos) somados à média geral;

$a$ : vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (assumidos como aleatórios);

$p$ : vetor dos efeitos de parcelas (assumidos como aleatórios);

$s$ : vetor dos efeitos permanentes (aleatórios);

$b$ : vetor dos efeitos de blocos (assumidos como aleatórios);

$e$ : vetor de erros ou resíduos (aleatórios).

As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

No primeiro ano de produção (2012/13) verificou-se existência de variabilidade entre as famílias (Tabela 1). No entanto, para todos os caracteres, as estimativas de variância residual foram superiores em relação à variância genética. Para o segundo ano de produção (2013/14), os caracteres produtividade de frutos (PF), grãos (PG), óleo (PO) e teor de óleo da semente (TO) apresentaram variância genética aditiva superiores (Tabela 2).

**Tabela 1.** Estimativas de parâmetros genéticos para os caracteres produtividade de frutos (PF), grãos (PG) e óleo (PO), percentual de casca (PC) e teor de óleo da semente (TO), avaliados no ano de produção 2012/13 (plantas com 48 meses de cultivo), em 121 famílias de *Jatropha curcas* L..

Parâmetros <sup>1</sup>	PF (kg.ha <sup>-1</sup> )	PC (%)	PG (kg.ha <sup>-1</sup> )	TO (%)	PO (kg.ha <sup>-1</sup> )
<i>V<sub>a</sub></i>	53160,0135	0,6025	32996,7110	0,2119	4706,8519
<i>V<sub>p</sub></i>	108657,5055	1,3993	60141,4506	0,3658	8255,5011
<i>V<sub>b</sub></i>	612,9123	0,2538	409,9498	0,0777	54,8567
<i>V<sub>e</sub></i>	246579,5751	7,7829	128331,9366	4,0430	17436,6519
<i>V<sub>f</sub></i>	409010,0064	10,0386	221880,0480	4,6984	30453,8617
<i>h<sub>a</sub><sup>2</sup></i>	0,1300	0,0600	0,1488	0,0451	0,1546
<i>h<sub>aj</sub><sup>2</sup></i>	0,1774	0,0719	0,2045	0,0498	0,2126
<i>h<sub>mp</sub><sup>2</sup></i>	0,1811	0,1156	0,2009	0,1009	0,2073
<i>h<sub>ad</sub><sup>2</sup></i>	0,1392	0,0549	0,1617	0,0378	0,1684
<i>c<sub>p</sub><sup>2</sup></i>	0,2657	0,1394	0,2711	0,0779	0,2711
<i>c<sub>b</sub><sup>2</sup></i>	0,0015	0,0253	0,0018	0,0165	0,0018
Acurácia	0,4256	0,3400	0,4483	0,3176	0,4553
<i>CV<sub>gi</sub>%</i>	19,4130	2,7745	21,1136	1,2647	21,7843
<i>CV<sub>gp</sub>%</i>	9,7065	1,3872	10,5568	0,6323	10,8922
<i>CV<sub>e</sub>%</i>	35,7487	6,6466	36,4628	3,2699	36,8894
<i>CV<sub>r</sub></i>	0,2715	0,2087	0,2895	0,1934	0,2953
Média geral (Kg.ha <sup>-1</sup> )	1187,6838	27,9780	860,3460	36,3951	314,9349
Média geral (g.planta <sup>-1</sup> )	475,07	-----	344,14	-----	125,27

<sup>1</sup> *V<sub>a</sub>*: variância genética aditiva; *V<sub>p</sub>*: variância ambiental entre parcelas; *V<sub>b</sub>*: variância ambiental entre blocos; *V<sub>e</sub>*: variância residual; *V<sub>f</sub>*: variância fenotípica individual; *h<sub>a</sub><sup>2</sup>*: herdabilidade individual no sentido restrito (dos efeitos aditivos); *h<sub>aj</sub><sup>2</sup>*: herdabilidade individual no sentido restrito, ajustada para os efeitos de parcela e blocos; *h<sub>mp</sub><sup>2</sup>*: herdabilidade média das famílias; *h<sub>ad</sub><sup>2</sup>*: herdabilidade aditiva dentro de parcela; *c<sub>p</sub><sup>2</sup>*: coeficiente de determinação dos efeitos de parcela; *c<sub>b</sub><sup>2</sup>*: coeficiente de determinação dos efeitos de bloco; *CV<sub>gi</sub>%*: coeficiente de variação genética aditiva individual; *CV<sub>gp</sub>%*: coeficiente de variação genotípica entre famílias; *CV<sub>e</sub>%*: coeficiente de variação residual; *CV<sub>r</sub>* = *CV<sub>gp</sub>*/*CV<sub>e</sub>*: coeficiente de variação relativa; Média geral do experimento.

A presença de variabilidade pode ser confirmada pelo coeficiente de variação genética ( $CV_{gi}\%$ ). Dentre os caracteres avaliados em 2012/13, os mais variáveis geneticamente na população foram PF, PG e PO, com  $CV_{gi}\%$  variando de 19 a 21%, enquanto PC e TO apresentaram valores inferiores (Tabela 1). BHERING et al. (2013) observaram, em plantas com 20 meses de cultivo,  $CV_{gi}\%$  de 29,01% para rendimento de grãos. O ano de produção 2013/14 (Tabela 2) apresentou  $CV_{gi}\%$  de 46%, 47% e 52% para os caracteres PF, PG e PO, respectivamente, enquanto PC e TO apresentaram valores de 3,8% e 6,08%, respectivamente. ROCHA et al. (2012) relataram  $CV_{gi}\%$  de 6,02% e 6,92% para peso de casca, aos 36 e 48 meses de cultivo. No presente trabalho, não se recomenda a seleção com base no caractere PC. No que tange a produtividade de grãos e o teor de óleo da semente, os resultados corroboram com aqueles obtidos por SHABANIMOFRAD et al. (2013) que relataram  $CV_{gi}\%$  de 48,95% para rendimento de grãos e 6,98% para teor de óleo, porém, em plantas de 24 meses de campo. Ainda para teor de óleo avaliado em plantas de 36 e 48 meses, respectivamente, ROCHA et al. (2012) observaram  $CV_{gi}\%$  de 5,73% e 6,36%.

As estimativas de herdabilidade em nível de indivíduo ( $h_a^2$ ) variaram de 0,04 a 0,15 entre os caracteres (Tabela 1). De acordo com RESENDE (2002b),  $h_a^2 \leq 0,15$  são classificadas como de baixa magnitude e não propiciam precisão adequada para a seleção. No segundo ano de produção avaliado, estimativas de média magnitude ( $0,15 < h_a^2 < 0,50$ ) (RESENDE, 2002b) foram encontradas para PF (0,38), PG (0,38), TO (0,48) e PO (0,44), revelando situação favorável para seleção (Tabela 2).

O coeficiente de variação relativa ( $CV_r$ ) mensura a relação entre o coeficiente de variação genético e o coeficiente de variação ambiental. No segundo ano, as estimativas foram de 0,46, 0,46, 0,56 e 0,49, para os caracteres PF, PG, TO e PO, respectivamente (Tabela 2). Segundo VENCOVSKY et al. (1987), o maior valor desta estimativa está associado aos caracteres com maiores possibilidades de obtenção de ganhos com seleção.



**Tabela 2.** Estimativas de parâmetros genéticos para os caracteres produtividade de frutos (PF), grãos (PG) e óleo (PO), percentual de casca (PC) e teor de óleo da semente (TO), avaliados no ano de produção 2013/14 (plantas com 60 meses de cultivo), em 121 famílias de *Jatropha curcas* L..

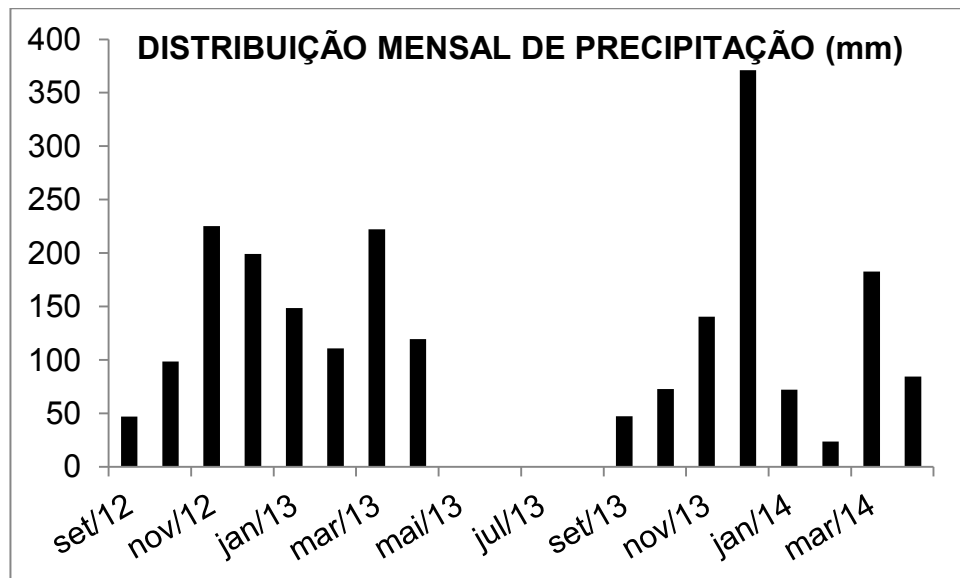
Parâmetros <sup>1</sup>	PF (kg.ha <sup>-1</sup> )	PC (%)	PG (kg.ha <sup>-1</sup> )	TO (%)	PO (kg.ha <sup>-1</sup> )
<i>V<sub>a</sub></i>	64405,6457	1,7322	29385,5342	3,9043	4022,7365
<i>V<sub>p</sub></i>	56661,0712	0,4508	25922,3438	1,7322	3141,4213
<i>V<sub>b</sub></i>	16128,5675	0,1830	7368,8897	0,1127	850,2658
<i>V<sub>e</sub></i>	30692,9089	6,8417	13720,2800	2,3835	1226,6084
<i>V<sub>f</sub></i>	167888,1932	9,2076	76397,0477	8,1328	9241,0320
<i>h<sub>a</sub><sup>2</sup></i>	0,3836	0,1881	0,3846	0,4800	0,4353
<i>h<sub>aj</sub><sup>2</sup></i>	0,6772	0,2020	0,6817	0,6209	0,7663
<i>h<sub>mp</sub><sup>2</sup></i>	0,3873	0,3432	0,3873	0,4890	0,4179
<i>h<sub>ad</sub><sup>2</sup></i>	0,6115	0,1596	0,6163	0,5513	0,7109
<i>c<sub>p</sub><sup>2</sup></i>	0,3375	0,0490	0,3393	0,2130	0,3399
<i>c<sub>b</sub><sup>2</sup></i>	0,0961	0,0199	0,09645	0,0139	0,0920
Acurácia	0,6223	0,5858	0,6224	0,6993	0,6464
<i>CV<sub>gi</sub>%</i>	45,7212	3,8474	46,6093	6,0783	52,0250
<i>CV<sub>gp</sub>%</i>	22,8606	1,9237	23,3046	3,0392	26,0125
<i>CV<sub>e</sub>%</i>	49,8003	4,6092	50,7672	5,3812	53,1737
<i>CV<sub>r</sub></i>	0,4590	0,4174	0,4590	0,5648	0,4892
Média geral (Kg.ha <sup>-1</sup> )	555,0652	34,2075	367,7855	32,5080	121,9126
Média geral (g.planta <sup>-1</sup> )	222,03	-----	147,11	-----	48,77

<sup>1</sup> *V<sub>a</sub>*: variância genética aditiva; *V<sub>p</sub>*: variância ambiental entre parcelas; *V<sub>b</sub>*: variância ambiental entre blocos; *V<sub>e</sub>*: variância residual; *V<sub>f</sub>*: variância fenotípica individual; *h<sub>a</sub><sup>2</sup>*: herdabilidade individual no sentido restrito (dos efeitos aditivos); *h<sub>aj</sub><sup>2</sup>*: herdabilidade individual no sentido restrito, ajustada para os efeitos de parcela e de bloco; *h<sub>mp</sub><sup>2</sup>*: herdabilidade média das famílias; *h<sub>ad</sub><sup>2</sup>*: herdabilidade aditiva dentro de parcela; *c<sub>p</sub><sup>2</sup>*: coeficiente de determinação dos efeitos de parcela; *c<sub>b</sub><sup>2</sup>*: coeficiente de determinação dos efeitos de bloco; *CV<sub>gi</sub>%*: coeficiente de variação genética aditiva individual; *CV<sub>gp</sub>%*: coeficiente de variação genotípica entre famílias; *CV<sub>e</sub>%*: coeficiente de variação residual; *CV<sub>r</sub>* = *CV<sub>gp</sub>* / *CV<sub>e</sub>*: coeficiente de variação relativa; Média geral do experimento.

VENCOVSKY et al. (1987), afirmam ainda que em experimentos com duas ou três repetições, a possibilidade de ganhos aumenta quanto mais próximo da unidade for o  $CVr$ . RESENDE (2007b), utilizando como exemplo uma espécie florestal, preconizou que  $CVr > 0,45$  conduzem a altas herdabilidades ao nível de médias de famílias ( $h_{mp}^2$ ) e acurácias. No presente trabalho, estimativas de  $h_{mp}^2$  de 0,39, 0,39, 0,49 e 0,42, conduziram a acurácias de médias a altas magnitudes de 0,62, 0,62, 0,70 e 0,65 para os caracteres PF, PG, TO e PO, respectivamente (Tabela 2). Nas etapas iniciais e intermediárias do melhoramento, acurácias da ordem de 70% ou mais são desejáveis (RESENDE, 2002b).

Neste sentido, no presente estudo o caractere TO apresentou maior potencial para seleção seguido de PO, PF e PG, no ano de produção 2013/14. No entanto, o baixo valor de  $CVgi\%$  (6,08%) apresentado por TO, sugere a seleção com base nos caracteres de produtividade (PF, PG e PO).

Em relação à média geral do experimento, verificou-se que as produtividades de frutos, grãos e óleo sofreram queda no segundo ano de produção avaliado, quando comparada com o primeiro devido ao fato da distribuição de chuva ter sido menor durante o período de floração de *J. curcas* (Figura 1). De acordo com DIAS et al. (2007), sob as condições climáticas de Minas Gerais, a floração do pinhão manso ocorre após o período de seca. Da flor ao fruto maduro são decorridos 60 dias.



**Figura 1.** Distribuição mensal de precipitação em mm, para os anos de produção 2012/13 e 2013/14, no município de Viçosa, MG.

Os estudos sobre estimativas de parâmetros genéticos em *J. curcas* citados neste trabalho, foram feitos com a planta em diferentes estádios de desenvolvimento, na maioria das vezes, com plantas juvenis, não tratando da produtividade de grãos e do teor de óleo da semente em plantas adultas. ROCHA et al. (2012) também verificaram que são escassos os trabalhos que estimam componentes genéticos e ganhos com a seleção, levando em consideração medidas repetidas e avaliação de plantas em idade produtiva. Neste sentido, a análise conjunta dos dois anos de produção foi apresentada na Tabela 3.

**Tabela 3.** Estimativa de parâmetros genéticos para os caracteres produtividade de frutos (PF), grãos (PG) e óleo (PO), percentual de casca (PC) e teor de óleo da semente (TO), avaliados conjuntamente nos anos de produção 2012/13 e 2013/14, em 121 famílias de *J. curcas*.

Parâmetros <sup>1</sup>	PF (kg.ha <sup>-1</sup> )	PC (%)	PG (kg.ha <sup>-1</sup> )	TO (%)	PO (kg.ha <sup>-1</sup> )
<i>V<sub>a</sub></i>	58540,2971	0,9096	30335,9773	1,6210	4272,0459
<i>V<sub>p</sub></i>	69806,8933	0,3228	35420,9602	0,3517	4597,1852
<i>V<sub>perm</sub></i>	25591,8346	0,0878	11037,6429	0,0565	1134,6980
<i>V<sub>b</sub></i>	10856,0159	0,3233	5539,3485	0,0770	731,7381
<i>V<sub>e</sub></i>	138051,8516	9,3460	74464,0171	4,8905	10170,5084
<i>V<sub>f</sub></i>	302846,8924	10,9895	156797,9460	6,9967	20906,1755
<i>h<sub>a</sub><sup>2</sup></i>	0,1933	0,0828	0,1935	0,2317	0,2043
<i>c<sub>p</sub><sup>2</sup></i>	0,2305	0,0294	0,2259	0,0503	0,2199
<i>c<sub>perm</sub><sup>2</sup></i>	0,0845	0,0080	0,0704	0,0081	0,0543
<i>c<sub>b</sub><sup>2</sup></i>	0,0358	0,0294	0,0353	0,0110	0,0350
Acurácia	0,54	0,50	0,55	0,70	0,56
<i>CV<sub>gi</sub>%</i>	27,8479	3,0652	28,4529	3,6986	30,0259
<i>r</i>	0,5442	0,1495	0,5251	0,3010	0,5135
Média geral (Kg.ha <sup>-1</sup> )	868,8302	31,1148	612,1425	34,4230	217,6813
Média geral (g.planta <sup>-1</sup> )	347,53	-----	244,86	-----	87,07
Mínimo	95,24	-----	59,43	-----	17,90
Máximo	599,82	-----	430,29	-----	156,24

<sup>1</sup> *V<sub>a</sub>*: variância genética aditiva; *V<sub>p</sub>*: variância ambiental entre parcelas; *V<sub>perm</sub>*: variância dos efeitos permanentes; *V<sub>b</sub>*: variância ambiental entre blocos; *V<sub>e</sub>*: variância residual; *V<sub>f</sub>*: variância fenotípica individual; *h<sub>a</sub><sup>2</sup>*: herdabilidade individual no sentido restrito (dos efeitos aditivos); *c<sub>p</sub><sup>2</sup>*: coeficiente de determinação dos efeitos de parcela; *c<sub>perm</sub><sup>2</sup>*: coeficiente de determinação dos efeitos permanentes; *c<sub>b</sub><sup>2</sup>*: coeficiente de determinação dos efeitos de bloco; *r*: repetibilidade individual; Média geral do experimento.

Em geral, verificou-se variabilidade genética entre as famílias em estudo (Tabela 3). Os coeficientes de variação genética ( $CV_{gi}\%$ ) foram 27,85%, 3,07%, 28,45%, 3,70% e 30,03% para PF, PC, PG, TO e PO, respectivamente. Estimativas de herdabilidades ( $h_a^2$ ) apresentaram magnitudes moderadas, entre 0,19 e 0,23, revelando uma situação favorável para a seleção de todos os caracteres, exceto para PC que apresentou baixa herdabilidade (0,08). Segundo classificação de RESENDE (2002b), valores de acurácias seletivas foram de moderadas a altas para PF (0,54), PG (0,55), TO (0,70) e PO (0,56), evidenciando precisão satisfatória para a seleção.

A produção de grãos de *J. curcas* é um dos caracteres mais importantes para seleção de plantas (SPINELLI et al. 2010; ROCHA et al. 2012) e está relacionado não somente com o manejo da cultura no campo ou o seu potencial genético, mas também com a idade da planta por se tratar de uma espécie perene. De acordo com LAVIOLA e DIAS (2008), *J. curcas* inicia a produção de frutos já no primeiro ano de cultivo, embora atinja o seu clímax produtivo a partir do quarto ano, com capacidade produtiva potencial por mais de 40 anos. O presente trabalho avaliou plantas com 48 e 60 meses de cultivo, com produtividade média de grãos de 244,86 g.planta<sup>-1</sup>, variando de 59,43 g.planta<sup>-1</sup> a 430,29 g.planta<sup>-1</sup> (Tabela 3). RAO et al. (2008) relataram faixa de variabilidade de 36,6 g a 263,97 g, com média de 147,8 g num cultivo de 60 meses, na Índia. BHERING et al. (2013) verificaram, em um cultivo de 20 meses, 175,95 g, variando de 57,11 g a 537,10 g. A média e a dispersão dos valores indicam representatividade dos materiais avaliados em relação à variabilidade descrita para a espécie na literatura.

A repetibilidade indica a possibilidade de selecionar genótipos que mantêm sua superioridade ao longo dos anos. A interpretação de medições ao longo do tempo é fundamental para a caracterização do desempenho produtivo de plantas perenes que se caracterizam pelo seu longo ciclo reprodutivo e expressão diferenciada dos caracteres ao longo do tempo (RESENDE, 2002b). No presente estudo são relatadas repetibilidades médias ( $0,30 < r < 0,60$ ) de acordo com classificação de RESENDE (2002b), para os caracteres PF (0,54), PG (0,52), TO (0,30) e PO (0,51), indicando que as famílias avaliadas mantêm superioridade relativa ao longo dos anos, com inferência baseada na média de duas medições ou colheitas. (Tabela 3). SPINELLI et al. (2012), observaram

coeficiente de repetibilidade de 0,52 para produção de grãos de *J. curcas*, com três medições.

## 6. CONCLUSÕES

1. O ano de produção 2012/13 não apresentou situação favorável para estimação de parâmetros genéticos, haja vista que para muitos deles as estimativas foram de baixas magnitudes, a exemplo das herdabilidades ( $h_a^2 \leq 0,15$ ).

2. Já no ano de produção 2013/14, a situação para estimação de parâmetros genéticos foi mais favorável. Valores moderados de  $h_a^2$  foram estimados para os caracteres PF, PG e PO (0,38; 0,38 e 0,43, respectivamente) e altos para  $CV_{gi}$  (45,72%; 46,61% e 52,02%, respectivamente).

3. A estimação de parâmetros com base na análise conjunta dos dois anos apresentou estimativas de magnitudes intermediárias àquelas obtidas nos anos de produção 2012/13 e 2013/14.

4. Com base nos valores de repetibilidade ( $r > 0,51$ ) apresentados pelos caracteres PF, PG e PO, duas medições ou colheitas consecutivas são suficientes, uma vez que as famílias avaliadas mantiveram seus desempenhos relativos ao longo de dois anos.

## 7. REFERÊNCIAS

ANP. **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. Brasília, DF, Disponível em: < <http://www.anp.gov.br/?pg=60983> >. Acesso em: 05 Jun 2013.

BHERING, L. L.; BARRERA, C. F.; ORTEGA, D.; LAVIOLA, B. G.; ALVES, A. A.; ROSADO, T. B.; CRUZ, C. D. Differential response of *Jatropha* genotypes to different selection methods indicates that combined selection is more suited than other methods for rapid improvement of the species. **Industrial Crops and Products**, v. 41, p. 260-265, 2013.

DIAS, L. A. S.; LEME, L.; LAVIOLA, B.; PALLINI FILHO, A.; PEREIRA, O.; CARVALHO, M.; MANFIO, C.; SANTOS, A.; SOUSA, L.; OLIVEIRA, T. Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) para produção de óleo combustível. **Viçosa, MG**, v. 1, p. 1-40, 2007.

DIAS, L.A.S.; MULLER, M.; FREIRE, E. Potencial do uso de oleaginosas arbóreas em sistemas silvipastoris. **Sistemas agrossilvipastoris na América do Sul: desafios e potencialidades. Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora**, p. 283-314, 2008.

DIAS, L. A. S. Biofuel plant species and the contribution of genetic improvement. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 11, n. SPE, p. 16-26, 2011.

FREITAS, R. G.; MISSIO, R. F.; MATOS, F. S.; RESENDE, M. D.; DIAS, L. A. Genetic evaluation of *Jatropha curcas*: an important oilseed for biodiesel production. **Genet Mol Res**, v. 10, n. 3, p. 1490-1498, 2011.

LAVIOLA, B. G.; DIAS, L. A. S. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-manso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 05, p. 1969-1975, 2008.

LAVIOLA, B. G.; ROCHA, R. B.; KOBAYASHI, A. K.; ROSADO, T. B.; BHERING, L. L. Genetic Improvement of *Jatropha* for Biodiesel Production. **Ceiba**, v. 51, n. 1, p. 1-10, 2010.

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**, v. 22, n. 5, p. 697-709, 2008.

RESENDE, M. D. V. **Software Selegen-Reml/Blup**. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2002a. 67p. (Documentos 77).

RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2002b. 975 p.

RESENDE, M. D. V. **Selegen–Reml/Blup: Sistema Estatístico e Seleção Genética Computadorizada via Modelos Lineares Mistos**. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2007a. 360 p.

RESENDE, M. D. V. Análise estatística em silvicultura, fruticultura, forragicultura, agricultura e olericultura. In: FLORESTAS, E. (Ed.). **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético** ed. Colombo, PR, 2007b. p. 447-509.

ROCHA, R. B.; RAMALHO, A. R.; TEIXEIRA, A. L.; LAVIOLA, B. G.; SILVA, F. C. G.; MILITÃO, J. S. L. T. Eficiência da seleção para incremento do teor de óleo do pinhão-manso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 1, p. 44-50, 2012.

SHABANIMOFRAD, M.; RAFII, M. Y.; MEGAT WAHAB, P. E.; BIABANI, A. R.; LATIF, M. A. Phenotypic, genotypic and genetic divergence found in 48 newly collected Malaysian accessions of *Jatropha curcas* L. **Industrial Crops and Products**, v. 42, p. 543-551, 2013.



SPINELLI, V. M.; ROCHA, R. B.; RAMALHO, A. R.; MARCOLAN, A. L.; VIEIRA JÚNIOR, J. R.; FERNANDES, C. F.; MILITÃO, J. S. L. T. A.; DIAS, L. A. S. Primary and secondary yield components of the oil in physic nut (*Jatropha curcas* L.). **Ciência Rural**, v. 40, n. 8, p. 1752-1758, 2010.

SPINELLI, V. M. **Desempenho produtivo e estimativas de parâmetros genéticos com a seleção entre e dentro de famílias de meia irmãs de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.)**. 2012. 64 f. Mestrado - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

VENCOVSKY, R. L.; PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. P. Herança quantitativa. **Melhoramento e produção de milho**, v. 2, p. 137-214, 1987.

## **CAPÍTULO II**

**Seleção e predição de ganhos genéticos em famílias de polinização aberta de *Jatropha curcas* L.**

## 1. RESUMO

*Jatropha curcas* L. é uma das oleaginosas mais promissoras para biodiesel e bioquerosene e encontra-se em processo de melhoramento genético. Neste estudo, é apresentada a primeira simulação de seleção de indivíduos e clones com base em dados de plantas com 48 e 60 meses de cultivo, no conjunto de dois anos de produção (2012/13 e 2013/14). Simulou-se a seleção dos melhores indivíduos (valor genético aditivo) e clones (valor genotípico), considerando-se a produtividade de óleo (PO), em kg ha<sup>-1</sup>, em 121 famílias de *J. curcas*. O experimento foi instalado em Araponga, MG, em látice 11 x 11, com três repetições e quatro plantas por parcela, totalizando 1452 plantas, no espaçamento de 2 x 2 m. Os resultados evidenciaram ganhos genotípicos preditos (66%), superiores aos genéticos aditivos (56%), indicando maiores possibilidades de sucesso com a implantação de plantios clonais. Na seleção dos 20 melhores indivíduos para semente, sete foram coincidentes para clone. Os resultados aqui apresentados demonstram o potencial da população de *J. curcas* para fins de melhoramento genético.

**Palavras chaves:** Pinhão manso, biodiesel, bioquerosene, método Rem/Blup, predição de ganhos.

## 2. ABSTRACT

*Jatropha curcas* L. is one of the most promising oilseed for biodiesel and biokerosene and is in the process of genetic improvement. In this study, it is presented the first simulation of selecting individuals and clones based on data of plants with 48 and 60 months of cultivation, in two years of production (2012/13 and 2013/14). Simulated the selection of the best individuals (additive genetic value) and clones (genotypic value) , considering the productivity of oil (PO), in  $\text{kg ha}^{-1}$ , in 121 families of *J. curcas*. The trial was set up in Araponga, Minas Gerais, in lattice 11 x 11, with three repetitions and 4-plant plots, totaling 1452 plants, in 2 x 2 m spacing. The results showed genotypic gains predicted (66%), superior to the additive genetic (56%), indicating greater possibilities of success with the clonal plantations. In the selection of the 20 best individuals for seed, seven were coincident to clone. The results presented here demonstrate the potential of the population of *J. curcas* for breeding purposes.

**Key words:** Physic nut, biodiesel, biokerosene, Rem/Blup method, gains predicted.

### 3. INTRODUÇÃO

*Jatropha curcas* L. é uma oleaginosa perene que nos últimos sete anos vêm sendo prospectada para a produção de biodiesel no Brasil, mas ainda se encontra em processo de domesticação (LAVIOLA et al. 2010; FREITAS et al. 2011).

O Brasil apresenta grande potencial para produção de biocombustíveis líquidos. De acordo com DIAS et al. (2008), o país apresenta características edafoclimáticas favoráveis, disponibilidade de área e mão-de-obra, bem como comprovada competência técnica no campo da ciência agrícola.

As principais matérias-primas utilizadas para produção do biocombustível biodiesel no Brasil são soja, gordura animal e algodão, com contribuições de 81%, 13% e 4%, respectivamente, sendo os outros materiais responsáveis por apenas 2% dessa produção (ANP, 2013). Existe a necessidade, portanto, de diversificar a produção de matérias-primas para produção de biodiesel por meio da introdução de espécies promissoras. A adoção de *J. curcas* como uma cultura potencial para atender o programa nacional de produção e uso de biodiesel, deve-se ao fato de não ser uma espécie alimentar e ter alto potencial de rendimento para grãos ( $5 \text{ t.ha}^{-1}$ ) e óleo ( $1,9 \text{ t.ha}^{-1}$ ). Além disso, o óleo tem propriedades excelentes para a produção de biodiesel, como o alto teor de ácido oléico (DIAS, 2011). A oleaginosa vem sendo implantada em diversas regiões do Brasil, mas os genótipos utilizados são geneticamente desconhecidos, inexistindo cultivares melhorado. O baixo rendimento de grãos e a desuniformidade na maturação dos frutos limitam a competitividade desse cultivo (DIAS et al. 2007). Neste contexto, a predição de ganhos genéticos, constitui-se estratégia eficiente nos programas de melhoramento, para a seleção de plantas baseada em valores genéticos aditivos (sementes) e genotípicos (clones), podendo ser realizada, para a liberação de genótipos melhorados de *J. curcas*.

A seleção dos melhores indivíduos com base no sistema de propagação (assexuada ou sexuada) é relatada em poucos trabalhos com *J. curcas* (LAVIOLA et al. 2012; BORGES et al. 2014) e em outras espécies perenes: florestal como pinus (MISSIO et al. 2004; MISSIO et al. 2005); frutíferas como açaizeiro (FARIAS NETO et al. 2008), cupuaçu (ALVES e RESENDE, 2008)

coqueiro (FARIAS NETO et al. 2009); palmácea como pupunheira (FARIAS NETO et al. 2013); arbórea como seringueira (COSTA et al. 2008).

O objetivo deste trabalho foi simular a seleção dos melhores indivíduos e clones para produtividade de óleo e predizer os ganhos genéticos, considerando 121 famílias de *Jatropha curcas* L., avaliadas com 48 e 60 meses, no conjunto de dois anos de produção.

#### 4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em Dezembro de 2008, no campo experimental da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Araponga, MG, para a avaliação do desempenho de 121 famílias (com uma testemunha) de polinização aberta, assumidas meias-irmãs. O delineamento experimental utilizado foi o Látice 11 x 11, no espaçamento 2 X 2 m, com três repetições e quatro plantas por parcela, totalizando 1452 plantas. As famílias foram selecionadas fenotipicamente, com base no porte, sanidade e carga de frutos, em uma plantação comercial de seis mil plantas, no município de Viçosa, MG. A testemunha constitui-se do material mais plantado. As sementes que originaram essas matrizes foram adquiridas do pioneiro produtor Nagashi Tominaga, que produziu e distribuiu sementes delas em todo o Brasil. As práticas de manejo basearam-se nas recomendações de DIAS et al. (2007).

Os caracteres avaliados conjuntamente para os anos de produção de 2012/13 e 2013/14 que corresponderam, respectivamente, ao quarto e quinto ano de cultivo (plantas com 48 e 60 meses) foram: produtividade frutos (PF), grãos (PG), com umidade de 11%, e óleo (PO), em Kg.ha<sup>-1</sup>, e teor de óleo da semente (TO), em %.

Na avaliação da PF, a colheita dos frutos foi realizada em estágio final de maturação. Frutos maduros de coloração amarela e marron foram colhidos nos cachos e no chão, ao redor da planta. Em seguida, os frutos foram secos a 60 °C em estufa de circulação forçada de ar por 48 horas. Após serem pesadas e anotadas as produções de frutos de cada planta, estes foram beneficiados e quantificados quanto à PG. Em seguida, foi avaliado o caractere de semente, TO, em %, pelo método de ressonância magnética nuclear (*Oxford Instruments*), no laboratório de Melhoramento de Oleaginosas, no

Departamento de Fitotecnia da UFV. Posteriormente, foi obtido o caractere PO, pela expressão  $[(PG \times TO)/100]$ .

As análises estatísticas foram processadas utilizando o *software* Selegen-REM/BLUP (RESENDE, 2002). Para a análise conjunta dos anos de produção, baseados em repetibilidade e dados longitudinais, foi utilizado o modelo para famílias de meias-irmãs, no delineamento em látice, com várias plantas por parcela, um só local, medidas repetidas (no caso, modelo 67). O modelo genético e as equações de modelos mistos utilizadas para resolvê-lo são descritos em detalhe em RESENDE (2007a). Resumidamente, o modelo estatístico adotado foi:

$$y = Xm + Za + Wp + Qs + Tb + e, \text{ em que:}$$

$y$ : vetor de dados;

$m$ : vetor dos efeitos das combinações medição-repetição (assumidos como fixos) somados à média geral;

$a$ : vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (assumidos como aleatórios);

$p$ : vetor dos efeitos de parcelas (assumidos como aleatórios);

$s$ : vetor dos efeitos permanentes (aleatórios);

$b$ : vetor dos efeitos de blocos (assumidos como aleatórios);

$e$ : vetor de erros ou resíduos (aleatórios).

As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

As estimativas de correlações genotípicas entre caracteres e a análise de agrupamento das famílias pelo método Tocher, utilizando a distância de Mahalanobis, foram processadas utilizando-se o modelo 104 (RESENDE, 2002).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na seleção das 20 melhores famílias, os caracteres produtividade de frutos (PF), de grãos (PG), teor de óleo da semente (TO) e produtividade de óleo (PO) contribuíram com 30%, 31%, 4% e 34%, respectivamente, de ganho médio predito, quando comparados com a média geral (Tabela 1). Em relação à testemunha, os ganhos foram de 22%, 23%, 3% e 25%, respectivamente. Os caracteres apresentaram acurácias seletivas de 0,54; 0,55; 0,70 e 0,56, respectivamente.

**Tabela 1.** Ganho genético predito com a seleção das 20 melhores famílias de *Jatropha curcas* L., para produtividade de frutos (PF), produtividade de grãos (PG), teor de óleo da semente (TO) e produtividade de óleo (PO), avaliados em dois anos de produção.

Ordem	Família	PF (Kg.ha <sup>-1</sup> )	Família	PG (Kg.ha <sup>-1</sup> )	Família	TO (%)	Família	PO (Kg.ha <sup>-1</sup> )
1	77	1253,75	77	890,28	125	36,08	77	325,72
2	66	1218,34	66	866,38	70	36,02	66	316,85
3	91	1192,94	91	849,91	72	35,99	91	309,76
4	70	1173,35	70	834,19	66	35,95	70	304,06
5	65	1160,47	65	823,31	122	35,90	14	299,93
6	14	1150,40	14	815,61	124	35,86	65	296,65
7	10	1142,44	10	809,64	102	35,83	76	294,20
8	57	1134,51	57	805,01	14	35,81	35	292,33
9	76	1127,42	76	800,57	143	35,78	57	290,52
10	35	1121,68	35	796,70	127	35,76	10	288,79
11	122	1116,46	122	792,71	76	35,74	122	287,33
12	33	1111,33	33	789,20	116	35,72	33	285,88
13	116	1105,67	116	784,95	35	35,70	116	284,48
14	100	1100,32	100	781,08	132	35,68	124	283,18
15	124	1095,22	124	777,39	77	35,65	100	281,84
16	22	1090,14	22	773,90	8	35,63	58	280,34
17	92	1085,36	92	770,39	33	35,62	22	278,97
18	58	1080,99	58	767,11	55	35,60	92	277,70
19	51	1077,01	51	764,14	67	35,58	51	276,44
20	71	1072,64	71	760,66	91	35,56	104	275,13
<b>Média das Famílias</b>		1130,52		802,66		35,77		291,51
<b>Média Geral</b>		868,83		612,14		34,44		217,68
<b>Ganho médio (%)</b>		<b>30,12</b>		<b>31,12</b>		<b>3,86</b>		<b>33,92</b>
<b>Média da Testemunha</b>		929,40		654,74		34,70		232,69
<b>Ganho médio (%)</b>		<b>21,63</b>		<b>22,59</b>		<b>3,08</b>		<b>25,28</b>
<b>Acurácia Seletiva</b>		0,54		0,55		0,70		0,56



Na seleção precoce (segunda safra) de 20 melhores famílias de *J. curcas*, LAVIOLA et al. (2012) verificaram ganho genético predito de 48%, com acurácia seletiva de 0,79, para rendimento de grãos.

Dada à magnitude do ganho genético para o caractere PO (34%) e considerando ser este o produto final de interesse para a produção de biodiesel, a seleção de indivíduos e clones baseada em PO é aqui recomendada. No entanto, do ponto de vista prático, PO é uma caractere de difícil mensuração e foi obtido da combinação dos caracteres PG e TO.

SPINELLI et al. (2010) consideraram que a produtividade de grãos é um dos caracteres mais importantes para a seleção de plantas em *Jatropha curcas*, com maior rendimento de óleo, seguida, em menor proporção, dos caracteres volume de copa e teor de óleo na semente. Nesse sentido é importante estabelecer a correlação genotípica de PG com os demais caracteres. Correlações genotípicas positivas de maiores magnitudes foram verificadas entre PG e PF (0,99), PG e PO (0,99) e PF e PO (0,99), indicando que é possível aumentar o PG por intermédio da seleção indireta para PF e PO e a PF por intermédio de PO (Tabela 2). O TO apresentou valores positivos e de média magnitude com PO (0,57), PF (0,53) e PG (0,53). BIABANI et al. (2012) encontraram correlação negativa (-0,59) entre teor de óleo e rendimento de grão por planta, indicando não ser possível o aumento da produtividade de grãos praticando a seleção com base no teor de óleo, em contraste ao presente trabalho.

**Tabela 2.** Estimativas de correlações genotípicas entre produtividade de frutos (PF), de grãos (PG), teor de óleo da semente (TO) e produtividade de óleo (PO), em *Jatropha curcas* L., avaliados em dois anos de produção.

<b>Caractere</b>	<b>PF</b>	<b>PG</b>	<b>TO</b>	<b>PO</b>
<b>PF</b>	1	0,9987*	0,5318*	0,9960*
<b>PG</b>		1	0,5309*	0,9976*
<b>TO</b>			1	0,5685*
<b>PO</b>				1

\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

A seleção dos melhores indivíduos com base no valor genético aditivo (sistema de propagação sexuada) e no valor genotípico (sistema de propagação assexuada) em *J. curcas* deve ser estudada pelos melhoristas com a produção da planta estabilizada, a fim de se obter avanços no melhoramento genético da espécie. De acordo com LAVIOLA e DIAS (2008), no primeiro ano de cultivo dessa espécie, já se tem o início da produção dos frutos, mas o clímax produtivo é obtido apenas a partir do quarto ano, com capacidade potencial produtiva de até 40 anos. No entanto, a maioria dos trabalhos em *J. curcas* envolve apenas a seleção precoce. LAVIOLA et al. (2012) relataram seleção precoce para rendimento de grãos em genótipos de *J. curcas* com 24 meses, visando propagação sexuada de plantas. Para produção de grãos, BORGES et al. (2014) verificaram a seleção de procedências, visando propagação assexuada de plantas com 12, 24 e 36 meses.

No presente estudo, é apresentada uma primeira avaliação da seleção de famílias baseada em dados fenotípicos e referente aos melhores indivíduos e clones para produtividade de óleo, em plantas com 48 e 60 meses de idade.

A seleção dos 20 melhores indivíduos visando à propagação sexuada, ou seja, transformar as famílias em pomar de sementes por muda foi representada por 16 famílias, proporcionando ganho médio predito de 56% (Tabela 3). Após um ciclo de seleção, a nova média da população é elevada de 217,68 Kg.ha<sup>-1</sup> para 323,31 Kg.ha<sup>-1</sup>, com tamanho efetivo populacional de 17,71, suficiente para prevenir a ocorrência de depressão endogâmica na geração de plantio. O ganho genético predito com base no valor genético aditivo para seleção de indivíduos, considerando o caractere PO (56%) foi superior ao ganho predito com a seleção das melhores famílias (34%), para o mesmo caractere, indicando que a seleção dos melhores indivíduos é uma estratégia mais adequada do que selecionar famílias superiores.

**Tabela 3.** Valores fenotípicos (f), genéticos aditivos (a), ganho médio predito, nova média da população e tamanho efetivo ( $N_e$ ) para a seleção dos 20 melhores indivíduos de *Jatropha curcas* L., com base no valor genético aditivo, considerando a produtividade de óleo, em Kg.ha<sup>-1</sup>, avaliada em dois anos de produção.

Ordem	Família	Bloco	Árvore	f	a	u+a	Ganho	Nova Média	$N_e$	
1	14	20	2	596,19	166,05	383,73	166,05	383,73	1,00	
2	76	13	4	679,56	147,12	364,80	156,58	374,27	2,00	
3	14	3	4	593,38	145,18	362,86	152,78	370,46	2,48	
4	77	24	2	510,68	139,26	356,94	149,40	367,08	3,49	
5	57	15	1	652,98	136,73	354,41	146,87	364,55	4,49	
6	77	22	1	556,74	132,51	350,19	144,47	362,16	5,08	
7	3	25	3	600,52	129,00	346,68	142,26	359,95	6,07	
8	35	31	3	488,74	123,98	341,66	139,98	357,66	7,06	
9	13	2	4	551,78	121,57	339,25	137,93	355,62	8,05	
10	71	2	4	608,48	120,57	338,25	136,20	353,88	9,05	
11	33	33	2	565,77	117,24	334,92	134,47	352,16	10,04	
12	55	4	4	484,88	111,50	329,18	132,56	350,24	11,04	
13	44	4	4	552,66	110,11	327,79	130,83	348,51	12,04	
14	147	12	2	699,65	109,94	327,62	129,34	347,02	13,03	
15	122	33	2	475,16	108,76	326,44	127,97	345,65	14,03	
16	77	7	3	500,60	107,92	325,60	126,72	344,40	14,15	
17	116	17	2	562,43	107,06	324,74	125,56	343,24	15,14	
18	66	30	2	513,16	106,73	324,41	124,51	342,20	16,14	
19	122	14	4	491,20	105,81	323,49	123,53	341,21	16,72	
20	40	3	4	493,49	105,63	323,31	122,63	323,31	17,71	
<b>Ganho médio (%)</b>							<b>56</b>			
<b>Média Geral (u)</b>							<b>217,68</b>			

Vale ressaltar que os valores genéticos aditivos são também úteis no planejamento dos cruzamentos para avaliação no próximo ciclo seletivo. Em um programa de melhoramento, a formação da população de melhoramento é uma das etapas mais importantes. Essa população pode ser formada por genitores previamente selecionados, que representem a diversidade genética da espécie (BHERING et al. 2011). Neste sentido, o agrupamento genético das famílias direciona os cruzamentos (Tabela 4).

No presente trabalho, foi verificada a formação de oito grupos distintos de famílias, contendo as 16 famílias selecionadas com base no valor genético aditivo. O grupo IV com a maioria das famílias (sete famílias), seguido pelo grupo I (cinco famílias), grupo II (duas famílias) e os grupos VII e VIII (uma família cada).

O cruzamento entre indivíduos selecionados pertencentes a famílias de diferentes grupos deve ser enfatizado visando aumentar a probabilidade de obtenção de alta capacidade específica de combinação ou heterose (RESENDE, 2007b). Assim, famílias excepcionais de irmãs completas poderão ser geradas, visando à seleção de híbridos heteróticos.

**Tabela 4.** Agrupamento genético das famílias de *Jatropha curcas* L. pelo método Tocher com base na distância de Mahalanobis.

<b>Grupo</b>	<b>Famílias</b>
<b>I</b>	96; 60; 101; 16; <u>71</u> ; 99; <u>13</u> ; 20; <u>40</u> ; 89; 51; <u>147</u> ; 42; <u>55</u> ; 39; 74; 104; 112; 72; 86; 12; 67; 126; 46; 107; 125; 82; 61; 141; 37; 113; 1; 64; 94; 105 e 132.
<b>II</b>	31; 127; 117; 52; 129; 118; <u>3</u> ; 133; 81; 84; 4; <u>44</u> ; 59; 106; 130; 121; 83; 11; 53; 56; 142; 103; 151; 145; 131; 34; 90; 102; 18; 146; 73; 50; 110; 69; 88; 47; 45 e 140.
<b>III</b>	137; 144; 68; 111; 143; 79; 109; 43; 136; 28; 8; 5; 48; 135; 7; 23; 134; 30; 24; 150; 138; 29; 19; e 148.
<b>IV</b>	70; 10; <u>14</u> ; <u>116</u> ; <u>33</u> ; 65; <u>35</u> ; <u>122</u> ; 100; 124; <u>76</u> e <u>57</u> .
<b>V</b>	92; 22 e 58.
<b>VI</b>	25; 128; 15 e 9.
<b>VII</b>	<u>66</u> e 91.
<b>VIII</b>	<u>77</u>

---

Números sublinhados representam as 16 famílias obtidas pela seleção com base no valor genético aditivo.

A seleção dos 20 melhores clones, visando à propagação assexuada, foi constituída por 16 famílias e proporcionou um ganho médio de 66%, elevando a média populacional de 217,68 Kg.ha<sup>-1</sup> de óleo para 344,40 Kg.ha<sup>-1</sup>, com um tamanho efetivo de 14,15, suficiente para a manutenção da variabilidade genética e a obtenção de ganhos em ciclos subsequentes de seleção (Tabela 5).

O ganho genotípico predito (66%) foi superior ao genético aditivo (56%), o que pode indicar maiores possibilidades de ganhos com a implantação de plantios clonais. No entanto, cabe ressaltar que a seleção dos melhores indivíduos, com base no sistema de propagação (assexuada ou sexuada), está intimamente ligada aos objetivos do programa de melhoramento da espécie. Caso o objetivo seja a transformação das famílias em pomar de semente por mudas, os indivíduos devem ser selecionados com base no valor genético aditivo. Caso o objetivo seja o fornecimento de material para instalação de testes clonais e, posteriormente, para estabelecimento de plantios clonais, então se deve selecionar os indivíduos com base no valor genotípico, para que ocorra a maximização do ganho genético.

**Tabela 5.** Valores fenotípicos (f), genotípicos (g), ganho médio predito, nova média da população e tamanho efetivo ( $N_e$ ) para a seleção dos 20 melhores clones de *Jatropha curcas* L., com base no valor genotípico, considerando a produtividade de óleo, em  $\text{Kg.ha}^{-1}$ , avaliada em dois anos de produção.

Ordem	Família	Bloco	Árvore	f	g	u+g	Ganho	Nova Média	$N_e$	
1	14	20	2	596,19	254,84	472,52	254,84	383,73	1,00	
2	76	13	4	679,56	224,61	442,29	224,61	374,27	2,00	
3	14	3	4	593,38	220,06	437,74	220,06	370,46	2,48	
4	3	25	3	600,52	218,32	436,00	218,32	359,95	6,07	
5	57	15	1	652,98	208,41	426,09	208,41	364,55	4,49	
6	13	2	4	551,78	197,69	415,37	197,69	355,62	8,05	
7	77	24	2	510,68	196,09	413,77	196,09	367,08	3,49	
8	71	2	4	608,48	190,48	408,16	190,48	353,88	9,05	
9	35	31	3	488,74	186,13	403,81	186,13	357,66	7,06	
10	77	22	1	556,74	184,83	402,51	184,83	362,16	5,08	
11	44	4	4	552,66	184,63	402,31	184,63	348,51	12,04	
12	55	4	4	484,88	183,67	401,35	183,67	350,24	11,04	
13	33	33	2	565,77	177,98	395,66	177,98	352,16	10,04	
14	147	12	2	699,65	177,44	395,12	177,44	347,02	13,03	
15	40	3	4	493,49	167,66	385,34	167,66	323,31	17,71	
16	122	33	2	475,16	162,92	380,60	162,92	345,65	14,03	
17	116	17	2	562,43	161,81	379,49	161,81	343,24	15,14	
18	122	14	4	491,20	157,99	375,67	157,99	341,21	16,72	
19	66	30	2	513,16	147,78	365,46	147,78	342,20	16,14	
20	77	7	3	500,60	143,86	361,54	143,86	344,40	14,15	
<b>Ganho médio (%)</b>							<b>66</b>			
<b>Média Geral (u)</b>							<b>217,68</b>			

## 6. CONCLUSÕES

1. A predição de ganho genético envolvendo as 20 melhores famílias resultou em um adicional de 34% de produtividade de óleo, com acurácia seletiva de 0,56.

2. A predição de ganho genético envolvendo os 20 melhores indivíduos para valor genético aditivo (sementes) resultou em um adicional de 56% de produtividade de óleo.

3. A predição de ganho genético envolvendo os 20 melhores indivíduos para valor genotípico (clones) resultou em um adicional de 66% de produtividade de óleo.

4. Os indivíduos coincidentes para seleção de sementes e clones foram 14 20 2, 76 13 4, 14 3 4, 57 15 1, 55 4 4, 147 12 2 e 116 17 2, representando, respectivamente, família, bloco e árvore.



## 7. REFERÊNCIAS

ALVES, R. M.; RESENDE, M. D. V. Avaliação genética de indivíduos e famílias de cupuaçuzeiro no Estado do Pará e estimativas de parâmetros genéticos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 3, p. 696-701, 2008.

ANP. **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. Brasília, DF, Disponível em: < <http://www.anp.gov.br/?pg=60983> >. Acesso em: 05 Jun 2013.

BHERING, L.L.; CRUZ, C.D.; LAVIOLA, B.G. Biometria aplicada ao melhoramento de espécies alternativas para produção de biodiesel. In: CARDOSO, D.L.; LUZ, L.N. da; PEREIRA, T.N.S. (Ed.). **Estratégias em melhoramento de plantas**. Viçosa: Arka, 2011. p.89-119.

BIABANI, A.; RAFII, M. Y.; SALEH, G. B.; SHABANIMOFRAD, M.; LATIF, M. A. Phenotypic and genetic variation of *Jatropha curcas* L populations from different countries. **Maydica**, v. 57, n. 2, p. 164-171, 2012.

BORGES, C. V.; FERREIRA, F. M.; ROCHA, R. B.; SANTOS, A. R.; LAVIOLA, B. G. Productive capacity and genetic progress of physic nut. **Ciência Rural**, v. 44, n. 1, p. 64-70, 2014.

COSTA, R. B.; RESENDE, M. D. V.; GONÇALES, P. S.; CHICHORRO, J. F.; ROA, R. A. R. Variabilidade genética e seleção para caracteres de crescimento da seringueira. **Bragantia**, v. 67, n. 2, p. 299-305, 2008.

DIAS, L. A. S.; LEME, L.; LAVIOLA, B.; PALLINI FILHO, A.; PEREIRA, O.; CARVALHO, M.; MANFIO, C.; SANTOS, A.; SOUSA, L.; OLIVEIRA, T. Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) para produção de óleo combustível. **Viçosa, MG**, v. 1, p. 1-40, 2007.

DIAS, L. A. S.; MULLER, M.; FREIRE, E. Potencial do uso de oleaginosas arbóreas em sistemas silvipastoris. **Sistemas agrossilvipastoris na América**

**do Sul: desafios e potencialidades. Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora,**  
p. 283-314, 2008.

DIAS, L. A. S. Biofuel plant species and the contribution of genetic improvement. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 11, n. SPE, p. 16-26, 2011.

FARIAS NETO, J. T.; RESENDE, M. D. V.; OLIVEIRA, M. S. P.; NOGUEIRA, O. L.; FALCÃO, P. N. B.; SANTOS, N. S. A. Estimativas de parâmetros genéticos e ganhos de seleção em famílias de polinização aberta de açaizeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 04, p. 1051-1056, 2008.

FARIAS NETO, J. T.; LINS, P. M. P.; RESENDE, M. D. V.; MULLER, A. A. Seleção genética em famílias híbridas de coqueiro. **Rev. Bras. Frutic.**, v. 31, n. 1, p. 190-196, 2009.

FARIAS NETO, J. T.; CLEMENT, C. R.; RESENDE, M. D. V. Estimativas de parâmetros genéticos e ganho de seleção para produção de frutos em famílias de polinização aberta de pupunheira no Estado do Pará, Brasil. **Bragantia**, v. 72, n. 2, p. 122-126, 2013.

FREITAS, R. G.; MISSIO, R. F.; MATOS, F. S.; RESENDE, M. D.; DIAS, L. A. Genetic evaluation of *Jatropha curcas*: an important oilseed for biodiesel production. **Genet Mol Res**, v. 10, n. 3, p. 1490-1498, 2011.

LAVIOLA, B. G.; ROCHA, R. B.; KOBAYASHI, A. K.; ROSADO, T. B.; BHERING, L. L. Genetic Improvement of *Jatropha* for Biodiesel Production. **Ceiba**, v. 51, n. 1, p. 1-10, 2010.

LAVIOLA, B. G.; ALVES, A. A.; GURGEL, F. L.; ROSADO, T. B.; ROCHA, R. B.; ALBRECHT, J. C. Estimates of genetic parameters for physic nut traits based in the germplasm two years evaluation. **Ciência Rural**, v. 42, n. 3, p. 429-435, 2012.

LAVIOLA, B. G.; DIAS, L. A. S. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-manso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 05, p. 1969-1975, 2008.

MISSIO, R. F.; DIAS, L. A. S.; MORAES, M. L. T.; RESENDE, M. D. V. Selection of *Pinus caribaea* var. *bahamensis* famílias based on the predicted genetic value. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 4, p. 399-407, 2004.

MISSIO, R. F.; SILVA, A. M.; DIAS, L. A. S.; MORAES, M. L. T.; RESENDE, M. D. V. Estimates of genetic parameters and prediction of additive genetic values in *Pinus kessya* progenies. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 5, n. 4, p. 394, 2005.

RESENDE, M. D. V. **Software Selegen-Reml/Blup**. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2002. 67p. (Documentos 77).

RESENDE, M. D. V. **Selegen–Reml/Blup: Sistema Estatístico e Seleção Genética Computadorizada via Modelos Lineares Mistos**. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2007a. 360 p.

RESENDE, M. D. V. Análise estatística em silvicultura, fruticultura, forragicultura, agricultura e olericultura. In: FLORESTAS, E. (Ed.). **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**.ed. Colombo, PR, 2007b. p. 447-509.

SPINELLI, V. M.; ROCHA, R. B.; RAMALHO, A. R.; MARCOLAN, A. L.; VIEIRA JÚNIOR, J. R.; FERNANDES, C. F.; MILITÃO, J. S. L. T. A.; DIAS, L. A. S. Primary and secondary yield components of the oil in physic nut (*Jatropha curcas* L.). **Ciência Rural**, v. 40, n. 8, p. 1752-1758, 2010.

## CONCLUSÕES GERAIS

É apresentada a primeira avaliação da variabilidade e a simulação de seleção de indivíduos e clones de *Jatropha curcas* L., com base em dados de plantas com 48 (2012/13) e 60 (2013/14) meses. Em 2013/14, a estimação de parâmetros genéticos foi mais favorável. Valores moderados de  $h_a^2$  foram estimados para os caracteres PF, PG e PO (0,38; 0,38 e 0,43, respectivamente) e altos para  $CV_{gi}$  (45,72%; 46,61% e 52,02%, respectivamente). A análise conjunta dos dois anos apresentou estimativas de magnitudes intermediárias àquelas obtidas aos 48 e 60 meses. Com base nos valores de repetibilidade ( $r > 0,51$ ) apresentados pelos caracteres PF, PG e PO, duas medições ou colheitas consecutivas são suficientes, uma vez que as famílias avaliadas mantiveram seus desempenhos relativos ao longo de dois anos.

Na predição do ganho genético com a seleção das 20 melhores famílias, um incremento de 34% de produtividade de óleo, com acurácia seletiva de 0,56, foi verificado. A seleção dos 20 melhores indivíduos para valor genético aditivo (sementes) resultou em incremento de 56% de produtividade de óleo. Com a seleção envolvendo os 20 melhores indivíduos para valor genotípico (clones) o ganho em produtividade de óleo foi de 66%. Os indivíduos coincidentes para seleção de sementes e clones foram 14 20 2, 76 13 4, 14 3 4, 57 15 1, 55 4 4, 147 12 2 e 116 17 2, representando, respectivamente, família, bloco e árvore.

Esse conjunto de resultados fortalece o programa de melhoramento genético de *J. curcas* da Universidade Federal de Viçosa, além de identificar as plantas mais adequadas para cruzamentos e para clonagem, em busca de realizar os ganhos genéticos preditos.