

VICTOR MOUZINHO SPINELLI

**Desempenho produtivo e estimativas de parâmetros genéticos com a seleção entre e dentro de famílias de meias irmãs de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.)**

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

VIÇOSA  
MINAS GERAIS-BRASIL  
2012

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S757d  
2012

Spinelli, Victor Mouzinho, 1982-

Desempenho produtivo e estimativas de parâmetros genéticos com a seleção entre e dentro de famílias de meias irmãs de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) / Victor Mouzinho Spinelli. – Viçosa, MG, 2012.  
vi, 64f. : il. ; 29cm.

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

1. *Jatropha curcas* - Melhoramento genético. 2. Biodiesel.  
3. Pinhão-manso. I. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-Graduação em  
Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 633.85

VICTOR MOUZINHO SPINELLI

**Desempenho produtivo e estimativas de parâmetros genéticos com a seleção entre e dentro de famílias de meias irmãs de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.)**

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

APROVADA: 06 de agosto de 2012.

---

Dr. Rodrigo Barros Rocha

---

Dr. Marcos Deon Vilela Resende

---

Prof. Luiz Antônio dos Santos Dias

---

Dra. Ana Cristina Pinto Juhász

## AGRADECIMENTOS

- A Deus, pela presença na minha vida, por me permitir fazer algo que gosto e por mais esta conquista.
- Ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade.
- Aos professores dos Programas de Pós-Graduação em Fitotecnia, Genética e Melhoramento e Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa pelos ensinamentos.
- Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.
- A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa – RO) pelo o apoio e auxílio.
- Ao Professor Dr. Luiz Antônio dos Santos Dias pelas oportunidades, ensinamentos, dicas e pela orientação deste trabalho.
- A Banca Examinadora, composta pelos pesquisadores Dr. Luiz Antônio dos Santos Dias, Dr. Marcos Deon Vilela Resende, Dra. Ana Cristina Pinto Juhász e Dr. Rodrigo Barros Rocha, pela atenção dispensada e pelas preciosas dicas que contribuíram na melhoria deste trabalho.
- Ao Pesquisador Dr. Rodrigo Barros Rocha, pelos ensinamentos, oportunidades, incentivo e amizade.
- Aos colegas do Laboratório de Agroenergia que de maneira direta ou indireta, através de discussões, contribuíram com comentários e sugestões.
- A meus pais, meus irmãos, minhas avós, minha noiva e aos amigos, meu muito obrigado.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	v
ABSTRACT .....	vi
1. INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	2
3. REFERÊNCIAS .....	13
Capítulo I: Desempenho produtivo de famílias de meias irmãs de pinhão-manso ( <i>Jatropha curcas</i> L.).....	18
1. RESUMO .....	19
2. ABSTRACT .....	20
3. INTRODUÇÃO .....	21
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	25
6. CONCLUSÕES .....	29
7. REFERÊNCIAS .....	29
Capítulo II: Estimativas de parâmetros genéticos com a seleção entre e dentro de famílias de meias irmãs de pinhão-manso ( <i>Jatropha curcas</i> L.).....	40
1. RESUMO .....	41
2. ABSTRACT .....	42
3. INTRODUÇÃO .....	43
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	45
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	49
6. CONCLUSÕES .....	55
7. REFERÊNCIAS .....	56

## RESUMO

SPINELLI, Victor Mouzinho, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2012. **Desempenho produtivo e estimativas de parâmetros genéticos com a seleção entre e dentro de famílias de meias irmãs de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.).** Orientador: Luiz Antônio dos Santos Dias. Coorientadores: Rodrigo Barros Rocha e Marcos Deon Vilela Resende.

Apesar das suas potencialidades, o pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) encontra-se em processo de domesticação e o incremento da sua viabilidade econômica, social e ambiental depende de um incremento quantitativo de produtividade. A maturação desuniforme dos frutos e a baixa produtividade de grãos têm limitado a utilização desse cultivo para a produção de biodiesel. Os objetivos deste trabalho foram caracterizar o potencial produtivo e estimar os parâmetros genéticos e o progresso com seleção de componentes de produção de famílias de meias irmãs de pinhão-manso, no 2<sup>o</sup>, 3<sup>o</sup> e 4<sup>o</sup> anos pós-plantio. Avaliaram-se 16 famílias de meias irmãs em blocos casualizados, com três blocos e oito repetições. As seguintes características foram avaliadas: produção de grãos, número de cachos por planta, número de frutos por cacho, maturação dos frutos, altura e projeção de copa das plantas. Os principais componentes da produção dessa oleaginosa apresentaram controle genético predominante. No entanto, o efeito ambiental foi o principal determinante da uniformidade de maturação dos frutos, desta forma, estratégias de manejo têm maior potencial para impactar na concentração da produção de frutos dessa oleaginosa. O progresso genético da produção de grãos com a propagação vegetativa das plantas selecionadas foi de 33,3%, 41,6% e 56,7% no 2<sup>o</sup>, 3<sup>o</sup> e 4<sup>o</sup> anos pós-plantio, respectivamente. O ganho de seleção obtido com a propagação vegetativa das plantas selecionadas indica que os componentes não aditivos da variância apresentam menor influência na resposta das características. O desenvolvimento de novos materiais deve considerar estratégias de geração de variabilidade utilizando cruzamentos entre plantas divergentes e de melhores características agrônomicas.

## ABSTRACT

SPINELLI, Victor Mouzinho, M.Sc. **Performance and estimates genetic parameters with selection among and within physic nut half-sib families (*Jatropha curcas* L.).**

Adviser: Luiz Antônio dos Santos Dias. Co-Advisers: Rodrigo Barros Rocha and Marcos Deon Vilela Resende.

Despite its potential, the physic nut (*Jatropha curcas* L.) is still in domestication and the increase of its viability depends on a quantitative yield increase. The uneven fruit maturation and the low yield have been considered as the main limitations of this crop. The objectives of this study were to characterize the yield potential and to estimate the genetic parameters of the grain yield components of physic nut half-sibs families at the 2<sup>o</sup>, 3<sup>o</sup> and 4<sup>o</sup> years after planting, in order to quantify the genetic progress with the plant selection. With this objective 16 half-sibs families were evaluated using a randomized block design with three blocks and eight replications. The following traits were evaluated: grain yield, number of bunches per plant, number of fruits per bunch, maturation index, height and projection of plant crowns. The grain yield traits showed predominant genetic control. However, the environmental effect was determinant to the fruit maturation and management strategies have higher potential to improve this trait. The genetic progress with the vegetative propagation of the selected genotypes was 33.3%, 41.6% and 56.7% at the 2<sup>o</sup>, 3<sup>o</sup> and 4<sup>o</sup> years after planting, respectively. The genetic progress estimated with the vegetative propagation of the superior genotypes indicates that the non-additive genetic variance have lower importance to the trait expression. The development of new materials may consider strategies for increase of the genetic variability, as breeding among divergent plants with better agronomic traits.

**Key words:** *Jatropha curcas* L., estimates genetic parameters, biodiesel production.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O mercado de biodiesel encontra-se em ascensão no mundo motivado pela necessidade de se reduzir a dependência do petróleo e pelas ações de desenvolvimento sustentável. O pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.), espécie oleaginosa perene considerada ainda em fase de domesticação, é objeto de estudo de vários projetos de pesquisa para viabilizar sua produção.

Apesar da alta qualidade do seu óleo, existem diversos desafios de pesquisa a serem superados para viabilizar essa oleaginosa como alternativa para a produção de biodiesel, tais como, a falta de cultivares comerciais, a baixa produtividade e a desuniformidade na maturação dos frutos, o que inviabiliza a colheita mecânica.

Com a implementação do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel o pinhão-mansão foi apontado precocemente como uma cultura para atender a produção de óleo em diversas regiões do Brasil, inclusive em regiões semi-áridas. Na ocasião, o potencial de rendimento do pinhão-mansão foi estimado a partir de plantas adultas e isoladas, que produziram mais de 8 kg de grãos por árvore, contribuindo para superestimar a produção comercial dessa oleaginosa.

Os resultados do presente trabalho contribuem para melhor compreender o potencial produtivo dessa oleaginosa com a avaliação das principais características produtivas em condições de plantio adensado por 4 anos, período este que coincide com os investimentos em pesquisa com essa oleaginosa no país. E em alguns aspectos, os resultados levantam mais questões do que oferecem respostas sobre a melhor estratégia de uso dessa oleaginosa para produção de biocombustíveis.

O presente trabalho teve como objetivos: caracterizar o potencial produtivo dessa oleaginosa considerando avaliações ao longo do tempo, em condições de plantio adensado

(capítulo I) e estimar parâmetros genéticos de produção de grãos no 2<sup>o</sup>, 3<sup>o</sup> e 4<sup>o</sup> anos pós-plantio e quantificar o progresso genético com a seleção de plantas (capítulo II).

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Programa nacional de produção de biocombustíveis**

Na década de 1990, com a entrada em vigor do Protocolo de Quioto, as nações industrializadas se comprometeram a diminuir as emissões de gases do efeito estufa (GEE) em 5,2%, no período de 2008-2012. Este acordo global explicita que “o desenvolvimento e cooperação ambiental tem como intuítos: a redução da poluição do ar e a intensificação dos estudos por fontes de energias renováveis” (Ribeiro et al. 2011).

O mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL), proposta originária brasileira, é um dos mais importantes para a inovação tecnológica e o avanço da utilização de fontes energéticas renováveis. O Brasil assumiu voluntariamente o compromisso de reduzir a emissão de GEE (artigo 12 da Lei n.º 12.187, de 29 de dezembro de 2009) com o objetivo de aumentar a eficiência do uso de recursos naturais (Ribeiro et al. 2011).

Através da ação pública (Lei n.º. 11.097, de 13 de janeiro de 2005), o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) estabelece percentuais obrigatórios de biodiesel que devem ser adicionados ao diesel convencional e que desde janeiro de 2011 está em 5% (B5) (ANP, <http://www.anp.gov.br>).

Neste cenário, o Brasil se posiciona como potencial exportador de biocombustíveis, destacando-se pela sua experiência na produção de combustíveis a partir de fontes renováveis e pela variabilidade de plantas com potencial para a produção agrícola energética. Além destes fatores, destaca-se a extensa área agriculturável situada nas faixas tropical e subtropical e uma densa rede de rios perenes, que oferece condições para a produção agrícola para fins energéticos, sem comprometimentos para a produção de alimentos (MME,

<http://www.mme.gov.br/>, MCT, <http://www.mct.gov.br/>). Com estas iniciativas se prevê vantagens na balança comercial nacional com uma economia de até US\$ 160 milhões/ano com a redução das importações de petróleo.

Atualmente a soja (*Glycine max L.*) é a principal fonte de matéria-prima utilizada para produção de óleo vegetal no Brasil, sendo que outras oleaginosas, tais como algodão, girassol, amendoim e mamona contribuem com pequenas frações desta produção (menor do que 5%) (ANP, <http://www.anp.gov.br>).

Além destas, destacam-se pelo seu potencial oleaginoso algumas espécies, todas em processo de domesticação ou a espera de investimento (Van Leeuwen et al. 2005, Clement et al. 2005). A utilização de matérias-primas alternativas para a produção do biodiesel possui grande potencial para diversificar o agronegócio no país, mas está associado a um risco que o produtor não pode assumir. Este risco é resultado principalmente do incipiente grau de domesticação dos novos cultivos que estão sendo aventados para a produção de biodiesel e da perspectiva de abertura de mercado para a comercialização destas matérias-primas (Abreu et al. 2009).

## **2.2 A produção agrícola energética – o Estado de Rondônia**

Assim como uma série de características qualifica o Brasil a liderar a agricultura energética no mercado mundial, estados da federação de forte vocação agrícola, tais como o estado de Rondônia, destacam-se para essa tarefa. A incorporação de áreas à agricultura de energia sem competição com a agricultura de alimentos, impactos ambientais circunscritos ao socialmente aceitável, plantio de múltiplos cultivos dentro do ano calendário, e posicionamento geográfico estratégico para a exportação são alguns aspectos positivos daquele estado. Por situar-se na faixa tropical do planeta, o estado recebe intensa radiação solar ao longo de todo ano que associado à precipitação abundante, constitui naturalmente a base para produção de matéria-prima agrícola (Abreu et al. 2009).

De comum acordo com estas novas diretrizes energéticas, o estado de Rondônia tem despertado o interesse das iniciativas públicas e privadas para a produção agrícola energética. Visto que as suas condições edafoclimáticas são favoráveis, tem havido boas expectativas para a instalação de novos plantios de oleaginosas e também para a criação de demanda técnica. Em 2009 foram produzidos 5.986 m<sup>3</sup> de biodiesel nos Estados da região Norte do país. Em Rondônia, destaca-se uma usina já autorizada em região distante das fontes tradicionais de matéria-prima. No entanto, ainda não há produção de biocombustíveis nesse Estado.

Tratando-se de espécies perenes, muitas vezes as ações de pesquisa não conseguem atender as demandas na velocidade que o mercado necessita. Atualmente, pesquisas de pré-melhoramento e de prospecção de novos recursos são estratégicas para a transformação de um componente da biodiversidade em recurso genético (Dias et al. 2012, Laviola et al. 2012). Além de outras espécies oleaginosas que vem sendo prospectadas, considera-se o pinhão-manso como espécie promissora para atender a demanda por óleo vegetal com o avanço das pesquisas e reformulação da matriz energética nacional.

### **2.3 Pinhão-manso**

Estima-se que existam mais de 200 espécies oleaginosas com potencial para a produção de biodiesel. Os óleos vegetais podem ser encontrados normalmente nas sementes das plantas e ocasionalmente na polpa dos frutos (Nunes 2007). Plantas oleaginosas são encontradas em diversas famílias botânicas, entre elas a família das Euforbiáceas, uma das maiores das Angiospermas com aproximadamente 300 gêneros e 8000 espécies, entre as quais citam-se: a mamona (*Ricinus sp.*), a mandioca (*Manihot sp.*), o tungue (*Aleurites fordii*) e o pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) (Cortese 1956, Brasil 1985).

Popularmente, dependendo do local, o pinhão-manso pode ser também chamado de pinhão paraguaio ou pinhão branco. Caracteriza-se por sua ampla dispersão edafoclimática,

sendo encontrado em regiões tropicais dos países da América do Sul, África e Ásia (Openshaw 2000). Segundo Heller (1996) o centro de origem desta espécie ainda é controverso, porém a região da América Central é tida como a mais provável. Dias et al. (2012), com base em registros históricos e conceitos genéticos, provaram que tanto o centro de origem quanto o de domesticação de *J. curcas* é o México. Esses últimos autores propuseram ainda o norte de Minas Gerais como centro secundário de diversidade da espécie. No território brasileiro, a espécie é difundida em diversos tipos de vegetações, de 0 a 1.000 metros de altitude, tendo mostrado melhor desenvolvimento na região dos trópicos com precipitação entre 300 e 1.000 mm (Laviola & Dias 2008).

Maes et al. (2009) mapearam a distribuição natural de *J. curcas* no México e América Central e observaram que 95% das plantas cresceram em regiões com uma precipitação média anual acima de 944 mm. Esses autores também discutiram que em locais com chuvas na faixa de 900 a 1.200 mm.ano<sup>-1</sup> a cultura pode chegar a dobrar a produtividade, podendo produzir até 5 toneladas de grãos por hectare. De maneira geral, essa oleaginosa se desenvolve melhor em regiões de altas temperaturas médias e pluviosidade abundante (Saturnino et al. 2005, Maes et al. 2009).

No Brasil, a espécie é adaptável a distintas condições de temperatura e precipitação, ocorrendo desde o nordeste, São Paulo, Paraná, Tocantins, Pernambuco (Peixoto 1973) e Rondônia (Rocha et al. 2008). No estado de Minas Gerais a *J. curcas* é encontrada com maior frequência no Norte do estado e no Vale do Jequitinhonha (Saturnino et al. 2005, Juhász et al. 2010, Dias et al. 2012)

Yamada et al. (2011) realizaram estudos do zoneamento agroecológico do pinhão-manso e verificaram que 22,65% da região Nordeste é apta ao cultivo, 50,31% é marginal por deficiência hídrica e 14,74% inapta. Os estados de Goiás e Tocantins apresentam a maior porcentagem de áreas aptas (47,78%), seguidas pelas áreas marginais por excesso térmico e

deficiência hídrica (28,08%), marginais por deficiência hídrica (14,43%) e inaptas (9,37%). Segundo estes autores, o estado de Minas Gerais possui 33,91% de áreas aptas, 32,14% de áreas marginais por deficiência hídrica, 32,61% de áreas marginais por deficiência térmica e apenas 0,24% das áreas inaptas. Este estudo não considerou condições edafoclimáticas da região Norte do país.

Trata-se de espécie alógama, com  $2n=22$  cromossomos (Dahmer et al. 2009), podendo ser encontrados, naturalmente, indivíduos tetraplóides (Avelar et al. 2007). Estudos têm revelado que o genoma do pinhão-manso é relativamente pequeno ( $C= 416$  Mb) e que seus cromossomos são pequenos comparados com outras espécies das Euforbiáceas (Carvalho et al. 2008, Divakara et al. 2010).

Fisiologicamente o pinhão-manso é uma espécie xerófita de metabolismo C3-CAM caducifólia. Tolerar temperaturas anuais de 18 a 28 °C, ou superiores. Temperaturas muito altas influenciam negativamente a produtividade dessa oleaginosa que demanda essencialmente uma grande quantidade de N para fixação de carbono e formação dos novos tecidos foliares durante o período da seca (Laviola & Dias 2008).

Entre as vantagens do cultivo de pinhão-manso está a sua rusticidade, resistência ao estresse hídrico, adequação ao consórcio com outros cultivos anuais e a fácil propagação, podendo ser estabelecido por via seminal ou clonal. Esta espécie perene tem sido utilizada na recuperação de terrenos marginais, erodidos e na retenção da água no solo (Dias et al. 2007).

Historicamente, os grãos de pinhão-manso foram utilizados na iluminação de casas, produção de sabão e diferentes partes da planta utilizadas no uso da medicina popular, a exemplo das sementes que na África são usadas como um anti-helmíntico e purgante (Watt & Breyer-Brandwijk 1962). Em Mali, as folhas são usadas no tratamento da malária, a raiz no tratamento da sífilis, pneumonia, arbotivo, vermífugo e o látex, no combate a infecções fúngicas, picadas de insetos e promover a cicatrização (Gübitz et al. 1999). Nos últimos anos

tem havido um grande interesse por parte da comunidade científica no entendimento das características bioenergéticas desta espécie.

O pinhão-mansó é uma planta arbustiva de crescimento rápido que pode atingir até 12 m de altura, de forma natural, sem poda (Dias et al. 2007) e em cultivo entre 5 a 7 m de altura e diâmetro de tronco acima de 20 cm em quatro anos, sob condições agrícolas favoráveis (Achten et al. 2008). O caule é liso, de lenho mole que se caracteriza por ser dividido desde a base em ramos compridos (Figura 1) com numerosas cicatrizes produzidas pela queda das folhas (Cortesão 1956). O caule suculento atua como um tampão hídrico e auxilia a evitar a desidratação rápida da planta em casos de déficit hídrico. Essa oleaginosa exuda naturalmente um látex cáustico que mancha roupas e apresenta propriedades medicinais cicatrizantes e pesticida (Dias et al. 2007). O seu sistema radicular é do tipo pivotante, com uma raiz axial que pode atingir 5m de profundidade, com a formação de até 4 raízes laterais (Foild et al. 1996, Heller 1996, Dias et al. 2007). A planta exige nutrientes em grandes quantidades, principalmente nitrogênio e potássio (Laviola & Dias 2008).

O florescimento é um dos estágios fenológicos mais importantes dessa planta. Não sendo uma espécie sensível ao comprimento do dia, a floração é independente de latitude e o seu ciclo pode ser manipulado com irrigação (Heller 1996, Jongschaap et al. 2007). Contudo, o excessivo crescimento vegetativo devido à irrigação contínua pode resultar em redução na produção de grãos. As flores são actinomorfas, pentâmeras, monóicas e unissexuais, produzidas na mesma inflorescência. A inflorescência caracteriza-se por ser do tipo panícula, apresentando um eixo principal com eixos secundários (Solomon Raju & Ezradanam 2002, Saturnino et al. 2005). As flores masculinas possuem 10 estames, dos quais 5 unem-se na coluna. Em geral são mais numerosas que as flores femininas, as quais se desenvolvem no centro das ramificações. A proporção é de 1-5 flores femininas para 29-93 flores masculinas (Pimenta et al. 2009). O potencial de flores femininas fertilizadas determina o número de

frutos que poderão se desenvolver. Estruturalmente as flores femininas são isoladas, localizam-se próxima ao centro das inflorescências, apresentam pedúnculo longo não articulado, ovário com três carpelos cada um com um lóculo que produz um óvulo com 3 estigmas bifurcados e separados, com a presença ocasional de flores hermafroditas (Juhász et al. 2010).



**Figura 1.** Aspectos do plantio, da desuniformidade dos frutos e do caule da planta do *Jatropha curcas* L., aos 36 meses de plantio.

O ciclo de vida da flor masculina é de aproximadamente dois dias, tendo como viabilidade máxima do pólen as primeiras 9 horas após o florescimento, que permanecem

abertas por um período de oito a dez dias. Em relação às flores femininas, o tempo de abertura se reduz para dois a quatro dias. A receptividade estigmática é obtida do 1º ao 4º dia, decaindo a partir o 5º dia (Kun et al. 2007, Divakara et al. 2010).

Em relação à polinização, a mesma se realiza principalmente por insetos dípteros e a diferença de abertura das flores pistiladas em relação às estaminadas colabora para a polinização cruzada (Heller 1996, Solomon Raju & Ezradanam 2002). Apesar de ser possível realizar a autofecundação prevalece a formação de frutos por xenogamia. Verifica-se maior percentagem de formação de frutos nas flores polinizadas pela mistura de pólen (88%), em relação àquelas polinizadas por um único genitor masculino (80%). Solomon Raju & Ezradanam (2002) relataram taxa de formação de frutos de 96% na avaliação da xenogamia, valores mais próximos aos de polinização natural.

A floração do pinhão-mansinho ocorre no período da seca, o amadurecimento ocorre em 60 dias após a primeira floração, conseqüentemente, a colheita dos frutos ocorre no período chuvoso prolongado (Dias et al. 2007). Por sua vez, o fruto tem como características ser capsular ovóide, com diâmetro variando de 1,5 a 3,0 cm, sendo trilobular e, via de regra, com uma semente por cavidade. É formado por um pericarpo ou casca dura e lenhosa, indeiscente, inicialmente verde, passando a amarelo, castanho e no estágio final da maturação a preto. Contém de 53 a 62% de semente e de 35 a 40% de casca e seu peso varia 1,53 a 3,0 g (Dias et al. 2007, Nunes 2007) (Figura 2). Em frutos formados a partir de autofecundação e fecundação cruzada de *J. curcas*, a maior produção de grãos ocorreu a partir de fecundação cruzada, além de estes serem maiores e mais pesados (Abdelgair et al. 2008).



**Figura 2.** Detalhes da frutificação do *J. curcas*, frutos verdes e maduros no mesmo ramo.

Com o poder calorífico médio de 5.122 kcal/kg, a torta de *J. curcas*, composta de endocarpo (casca) e albúmen, supera o poder calorífico apresentado pela madeira de *Eucalyptus grandis* que é de 4.790 kcal/kg (Jara 1989). No entanto, deve-se atentar para o elevado teor de cinza da torta que é, aproximadamente, sete vezes maior do que o apresentado pela madeira (Oliveira Júnior et al. 2007).

A semente quando seca mede entre 1,5 e 2,0 cm de comprimento e 1,0 a 1,3 cm de largura (Figura 3). Seu peso varia de 0,5 a 0,8 g, dependendo do trato cultural. Morfologicamente, de fora para dentro, a semente apresenta a forma ovalada, dorso convexo, envoltório liso, de coloração preta, marcada com estrias brancas.



**Figura 3.** Detalhes das sementes da *J. curcas*.

O tegumento é rijo e com presença de uma película branca cobrindo a amêndoa (Nunes 2007) (Figura 4). Kaushik et al. (2007) avaliaram a variabilidade de 24 procedências na Índia, indicando um papel dominante do ambiente sobre o tamanho, peso e teor de óleo de sementes de *J. curcas*. Em sua constituição fisiológica são encontrados 7,2% de água, 37,5% de óleo e 55,3% de açúcar, amido, albuminóides e materiais minerais (48% de cinzas e 4,2% de nitrogênio).



**Figura 4.** Detalhes das amêndoas da *J. curcas*.

Cada semente contém 25 a 40% de óleo. A amêndoa contém o albúmen ou endosperma abundante, branco, oleaginoso e o embrião provido por dois cotilédones achatados e foliáceos. Segundo Tominaga et al. (2007), em relação à produtividade, esta oleaginosa produz em média 100, 500, 2.000 e 4.000 g/planta<sup>-1</sup> de sementes no primeiro, segundo, terceiro e quarto anos de cultivo, respectivamente. Já para Carnielli (2003) o pinhão-manso produz, em média, duas toneladas de óleo por hectare/ano. Soares et al. (2009) observaram correlação negativa entre produção de grãos e teor de óleo.

Em relação ao percentual de ácidos graxos no óleo desta euforbiácea, a mesma contém mais de 75% deles. O seu óleo apresenta propriedades químicas apropriadas para a produção de biodiesel, pois é rico em ácidos oleico (41%) e linolêico (38%) e seu potencial para produção de óleo é considerado elevado, chegando a 2 t/ha/ano, dependendo de características

do local como chuva, tipo de solo, fertilidade do solo, genética, idade da planta e manejo (Avelar et al. 2007, Penha et al. 2007, Achten et al. 2008). Além destas satisfatórias características, o óleo do pinhão-mansão atende ao mercado internacional, pois seu ponto de solidificação em torno de  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  facilita seu uso por países de clima frio (Achten et al. 2008).

Os ésteres-forbol são os principais componentes tóxicos, sendo tais substâncias derivados de diterpenos tetracíclicos, restritos às famílias Euforbiácea e Thymelaceae, o que determina o uso não comestível das sementes, apesar de ocorrer à forma não tóxica de pinhão-mansão restrita por enquanto ao território mexicano (Salé 2008). Embora exista elevada toxicidade entre os co-produtos da *J. curcas*, para Arruda et al. (2004) a torta de sementes tem um alto conteúdo de energia de  $25\text{ MJ kg}^{-1}$ , além de poder ser utilizada como fertilizante natural, em virtude do seu elevado teor de nitrogênio, fósforo e potássio.

A incidência de pragas varia com a idade da planta, estágio nutricional, época do ano, proximidade com plantas hospedeiras e condições climáticas (Saturnino et al. 2005). A cigarrinha verde (*Empoasca* spp.) é praga chave desse cultivo. Ocasionalmente ocasiona o amarelecimento e encurvamento de folhas e abortamento de flores (Dias et al. 2007). As formigas saúva (*Atta sexdens rubropilosa*) e raparrapa (*Acromyrmex ladoloti balzan*) causam, respectivamente, queda das folhas e anelamento das plantas e os cupins das famílias Rhinotermitidae são responsáveis pela dessecação de raízes, levando a planta à morte. O percevejo (*Pachycoris* sp) suga frutos imaturos e leva ao aborto prematuro, má formação de sementes e conseqüentemente a redução do peso de sementes. A broca (*Sternocoleus notaticeps*), quando adulta, coloca seus ovos no tecido parenquimatoso, os quais eclodem em larvas vindo a se alimentar dos tecidos internos do caule e dos ramos (Dias et al. 2007, Alves 2008).

No que concerne a aracnídeos, o ácaro-branco (*Polyphagotarsonemus latus*) é a principal praga que ataca a cultura do pinhão-mansão na época da seca, paralisando o crescimento das folhas. O intenso ataque desta praga causa a morte do meristema apical das

plantas acarretando excessiva brotação lateral. O ácaro-vermelho (*Tetranychus* sp.) causa queda em geral de folhas adultas, podendo também atacar folhas jovens (Dias et al. 2007).

Dentre os patógenos que infectam esta espécie cita-se o oídio ou mofo-branco (*Oidium hivea steinn*), fungo que ataca as partes verdes das plantas, acarretando desfolha e chochamento dos frutos (Saturnino et al. 2005, Dias et al. 2007, Franco & Gabriel 2008).

### 3. REFERÊNCIAS

- Abdelgadir H, Johnson SD, Van Staden J (2008) Approaches to improve seed production of *Jatropha curcas* L. **South African Journal of Botany** **74**: 359.
- Abreu FB, Resende MDV, Anselmo JL, Saturnino HM, Brenha JAM, Freitas FB (2009) Variabilidade genética entre acessos de pinhão-mansão na fase juvenil. **Magistra** **21**: 36-40.
- Achten WMJ, Verchot L, Franken YJ, Mathijs E, Singh VP, Aerts R, Muys B (2008) *Jatropha* bio-diesel production and use. **Biomass and Bioenergy** **32**: 1063-1084.
- Alves JMA (2008) Pinhão-mansão: uma alternativa para produção de biodiesel na agricultura familiar da amazônia brasileira. **Agro@mbiente On-line** **2**: 57-68.
- Arruda FP, Beltrão NEM, Andrade AP, Pereira WE, Severino LS (2004) Cultivo de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) Como alternativa para o semi-árido nordestino. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas** **8**: 789-799.
- Avelar RC, Araújo JC, Carvalho JPF, Alcântara MJ, Castro RP, Deperon JMA, Castro NP, Fraga AC (2007) Avaliação de acessos de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) do banco de germoplasma da UFLA In: **II Congresso da rede brasileira de tecnologia de biodiesel**. ABIPTI, Brasília.
- Brasil (1985) Ministério da Indústria e do Comércio. Secretária de Tecnologia Industrial. **Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais**. STI/CIT, Brasília, 364p. (Documentos 16).

- Carnielli F (2003) O combustível do futuro. Boletim UFMG, Belo Horizonte, 29(1413).
- Carvalho CR, Clarindo WR, Praça MM, Araújo NC (2008) Genome size base composition and karyotype of *Jatropha curcas* L. an important biofuel plant. **Plant Science** **174**: 613-617.
- Clement CR, Lleras Pérez E, Van Leeuwen J (2005) O potencial das palmeiras tropicais no Brasil: acertos e fracassos das últimas décadas. **Agrociencia** **9**: 67-71.
- Cortês M (1956) **Culturas tropicais: plantas oleaginosas**. Clássica, Lisboa, 231p.
- Dahmer N, Schifino-Wittmann MT, Dias LAS (2009) Chromosome numbers of *Jatropha curcas* L.: an important agrofuel plant. **Crop Breeding and Applied Biotechnology** **9**: 386-389.
- Dias LAS, Leme LP, Laviola BG, Pallini A, Pereira OL, Dias DCFS, Carvalho M Manfio CE, Santos AS, Sousa LCA, Oliveira TS, Pretti LA (2007) **Cultivo de pinhão-mansão** (*Jatropha curcas*). Suprema, Viçosa, 40p.
- Dias LAS, Missio RF, Dias DCFS (2012) Antiquity, botany, origin and domestication of *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae), a plant species with potential for biodiesel production. **Genetics and Molecular Research** **11**: 2719-2728.
- Divakara BN, Upadhyaya HD, Wani SP, Laxmipathi Gowda CL (2010) Biology and genetic improvement of *Jatropha curcas* L.: a review. **Applied Energy** **87**: 732-742.
- Foidl N, Foidl G, Sanchez M, Mittelbach M, Hackel S (1996) *Jatropha curcas* L. as a source for production of biofuel in Nicaragua. **Bioresource Technology** **58**: 77-82.
- Franco DAS, Gabriel D (2008) Aspectos fitossanitários na cultura do pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) para produção de biodiesel. **Biológico** **70**: 63-64.
- Gübitz GM, Mittelbach M, Trabi M (1999) Exploitation of the tropical oil seed plant *Jatropha curcas* L. **Bioresource Technology** **67**: 73-82.

- Heller J (1996) **Physic nut (*Jatropha curcas*): promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops**. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Rome, 66p.
- Jara ERP (1989) O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil. IPI, São Paulo, 6p. (Comunicação Técnica 1797).
- Jongschaap REE, Corré WJ, Bindraban PS, Brandenburg WA (2007) **Claims and facts on *Jatropha curcas* L.** Plant Research International B.V., Wageningen, 42p. (Report 158).
- Juhász ACP, Pimenta S, Soares BO, Morais BLB, Rabello HO (2010) Floral biology and artificial polinization in physic nut in the North of Minas Gerais state. Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira 44**: 1073-1077.
- Kaushik N, Kumar K, Kumar S, Roy S (2007) Genetic variability and divergence studies in seed traits and oil content of *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) accessions. **Biomass and Bioenergy 31**: 497-502.
- Kun L, Lun YW, Wei LC (2007) Breeding system and pollination ecology in *Jatropha curcas*. **Forest Research 20**: 775-781.
- Laviola BG, Alves AA, Gurgel FL, Rosado TB, Costa RD, Rocha RB (2012) Estimate of genetic parameters and predicted gains with early selection of physic nut families. **Ciência e Agrotecnologia 36**: 163-170
- Laviola BG, Dias LAS (2008) Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-manso. **Revista Brasileira de Ciências do Solo 32**: 1969-1975.
- Maes LWH, Trabucco A, Achten WMJ, Muys B (2009) Climatic growing conditions of *Jatropha curcas* L. **Biomass and Bioenergy 33**: 1481-1485.
- Nunes CF (2007) **Caracterização de frutos, sementes e plântulas e cultivo de embriões de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.)**. UFLA, Lavras, 78p. (Tese de mestrado).

- Oliveira Júnior JB, Marcela DN, Fraga AC, Castro Neto P (2007) Determinação dos nutrientes presentes na casca e torta de pinhão-manso. In: **IV Congresso brasileiro de plantas oleaginosas, óleos, gorduras e biodiesel**. ULFA, Varginha, p. 1763-1770.
- Opeshaw K (2000) A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. **Biomass and Bioenergy** **19**: 1-15.
- Peixoto AR (1973) **Plantas oleaginosas arbóreas**. Nobel, São Paulo, 284p.
- Penha MNC, Silva MDP, Mendonça KK, Brandão KSR, Maciel AP, Silva FC (2007) Caracterização físico-química da semente e óleo de pinhão-manso (*Jatropha curcas*) cultivado no Maranhão. In: **IV Congresso brasileiro de plantas oleaginosas, óleos, gorduras e biodiesel**. ULFA, Varginha.
- Pimenta S, Juhász ACP, Soares BO, Rabello H (2009) Hibridação artificial em plantas de *Jatropha curcas* L. In: **I Congresso brasileiro de pesquisas de pinhão-manso**. ABIPTI Brasília.
- Ribeiro RM, Dias LAS, Berger PG, Dias DCFS (2011) **Agroenergia na mitigação da mudança climáticas globais, na segurança energética e na promoção social**. Suprema, Viçosa, 201p.
- Rocha RB, Ramalho AR, Marcolan AL, Holanda ZF (2008) Demanda e oferta de tecnologia para produção de matéria prima para a produção de agroenergia no estado de Rondônia. In: **5º Congresso brasileiro de plantas oleaginosas, óleos, gorduras e biodiesel**. UFLA, Lavras.
- Salé NAC (2008) **Oportunidades e desafios para o comércio internacional de biocombústível da *Jatropha curcas* (pinhão-manso) produzido em países em desenvolvimento**. UFRS, Porto Alegre, 139p. (Dissertação de Mestrado).
- Saturnino HM, Pacheco DD, Kakida J, Tominaga N, Gonçalves NP (2005) Cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). **Informe agropecuário** **26**: 44-78.

- Soares BO, Juhász ACP, Pimenta S, Rabello H, Pimentel RMA, Costa MR (2009) Correlação entre produtividade e teor de óleo em *Jatropha curcas*. In: **I congresso brasileiro de pesquisas de pinhão-manso**. ABIPTI, Brasília.
- Solomon RAJ, Ezradanam V (2002) Pollination ecology and fruiting behaviour in a monoecious species, *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae). **Current Science** **83**: 1395-1398.
- Tominaga N, Kakida J, Yasuda EK (2007) **Cultivo de pinhão-manso para produção de biodiesel**. CPT, Viçosa, 220p.
- Van Leeuwen J, Lleras Pérez E, Clement CR (2005) Field genebanks may impede instead of promote crop development: lessons of failed genebanks of “promising” Brazilian palms. **Agrociencia** **9**: 61-66.
- Watt JM, Breyer-Brandwijk (1962) **The medicinal and poisonous plants of southern and eastern Africa**. 2a ed. Livingstone, London.
- Yamada ESM (2011) **Zoneamento agroclimático da *Jatropha curcas* L. como subsídio ao desenvolvimento da cultura no Brasil visando à produção de biodiesel**. ESALQ/USP, Piracicaba, 131p. (Dissertação de mestrado).

## **Capítulo I**

**Desempenho produtivo de famílias de meias irmãs de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.)**

## 1. RESUMO

Dentre as oleaginosas alternativas destaca-se o pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) pelo seu potencial de rendimento de grãos e pela qualidade de seu óleo para produção de biodiesel. Atualmente, a baixa produção de grãos, a desuniformidade na maturação de frutos e a inexistência de genótipos de alto rendimento limitam a competitividade desse cultivo. O objetivo desse trabalho foi caracterizar o desempenho produtivo de uma população estruturada em famílias de meias irmãs, no 2<sup>o</sup>, 3<sup>o</sup> e 4<sup>o</sup> anos pós-plantio. A produção de grãos mostrou variabilidade genética pelo teste F a 1% de probabilidade, indicando a possibilidade de progresso genético com seleção de plantas. O efeito da interação famílias x anos foi não significativo, indicando que as famílias mantiveram seu desempenho ao longo do tempo. De acordo com o teste de médias de Scott-Knott a 5% de probabilidade, as médias das famílias se diferenciaram. Contrariando as expectativas, a produtividade de grãos foi menor no 4<sup>o</sup> ano, devido provavelmente ao menor espaçamento entre plantas e ao ataque de cigarrinha. Estimativas de estabilidade e adaptabilidade temporal da produção indicaram tendência de manutenção da superioridade das plantas ao longo dos anos, destacando-se as famílias 7 e 12 como as mais estáveis e produtivas. O pinhão-manso apresenta potencial para maiores ganhos de produtividade.

**Palavras-chave:** *Jatropha curcas* L., estabilidade e adaptabilidade temporal, produção de biodiesel.

## 2. ABSTRACT

Among the alternative oilseeds stands the physic nut (*Jatropha curcas* L.) for its yield potential and oil quality for biodiesel production. The low grain yield, the uneven fruit maturation and the lack of superior genotypes limit the viability of this crop. The aim of this study was to characterize the yield potential, at the 2<sup>o</sup>, 3<sup>o</sup> and 4<sup>o</sup> years after planting, of a population structured in half-sib families. The grain yield showed genetic variability by the F test at 1% probability, indicating the chance of achieving genetic progress by plant selection. The families x years interaction effect was no significant, showing families maintaining its performance over time. By the Scott-Knott's test at 5% probability, the family means were different. Different to expectation, the grain yield decreased at 4<sup>o</sup> year, probably due to high planting density and *Empoasca* incidence. Temporal stability and adaptability estimates showed a tendency of the plant superiority to maintain over time, and the families 7 and 12 showed the best stability and yield performance. The physic nut has the potential to achieve further productivity gains.

**Key words:** *Jatropha curcas* L., temporal stability and adaptability, biodiesel production.

### 3. INTRODUÇÃO

Entre as oleaginosas alternativas destaca-se o pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) pelo seu potencial de rendimento de grãos, superior às oleaginosas tradicionais, e pelas características físico-químicas de seu óleo, favoráveis a produção de biodiesel (Dias 2011). Segundo Laviola et al. (2012), essa oleaginosa destaca-se também como uma alternativa de cultivo perene, que não necessita de renovações anuais, e por ser uma cultura não-alimentar e por isso não apresenta concorrência direta com a agricultura de alimentos. Apesar das suas potencialidades é importante considerar que essa espécie ainda se encontra em processo de domesticação (Juhász et al. 2010, Freitas et al. 2011). A baixa produção de grãos, a desuniformidade na maturação dos frutos e a inexistência de cultivares melhoradas de maior rendimento de grãos limitam a competitividade desse cultivo (Dias et al. 2007). A decomposição dos componentes de produção dessa oleaginosa mostrou que mais de 90% do rendimento de óleo depende do rendimento de grãos (Spinelli et al. 2010). Da expectativa inicial de produção de grãos de 4 t/ha ou mais, produções inferiores a 2 t/ha estão sendo observadas em diferentes condições edafoclimáticas, devido a limitações hídricas, ataques de pragas e doenças e, sobretudo, à inexistência de cultivares melhorados.

Fontes de variabilidade para resistência a oídio, para ausência de toxidez nas sementes e para a proporção de flores masculinas e femininas têm sido relatadas e caracterizadas em campo (Juhász et al. 2009, Laviola et al. 2010). Outros trabalhos têm confirmado uma expressiva faixa de variação na produção de grãos dessa oleaginosa, entre 0,2 a 2 kg/planta (Francis et al. 2005, Jongschaap et al. 2007). A caracterização dos acessos de maior produção de grãos tem sido objeto de estudos. Drumond et al. (2010) caracterizaram acessos responsivos a melhoria ambiental que produziram, aos 12 meses de plantio, 2,12 kg/planta de grãos em sistema irrigado. Por outro lado, em condições de cerrado e sem irrigação, Laviola et al. (2010) observaram variação na produção de grãos entre 0 a 0,18 kg/planta no primeiro

ano de avaliação de 110 acessos. Rao et al. (2008) observaram valores de correlação positiva entre a produtividade e a altura da planta e entre o número de ramos e a proporção de flores masculinas e femininas. O número de ramos maior associação com a produção de grãos em acessos no 3º ano de plantio. Por sua vez, Freitas et al. (2011) também descreveram associações entre altura, o diâmetro da copa e o número de ramos das plantas.

A existência de variabilidade genética na população é condição básica para a obtenção de ganhos com a seleção e a estruturação das populações de melhoramento em famílias de meias irmãs auxilia no processo. Estas permitem manipular a fração aditiva da variância genotípica, subsidiando a obtenção de ganhos com a seleção para características de baixa herdabilidade. Conforme Allard (1971), o teste de progênes/famílias consiste na seleção de plantas com base na média das famílias e no desvio do valor individual para identificação dos indivíduos de melhor desempenho. Para plantas perenes, com sobreposição de gerações e longo ciclo reprodutivo, deve-se considerar avaliações repetidas em cada indivíduo ao longo do tempo e manipulação da variância genotípica visando a produção de híbridos.

Neste cenário, o objetivo desse trabalho foi caracterizar a produção de grãos e sua estabilidade em uma população estruturada em famílias de meias irmãs, avaliadas no 2º, 3º e 4º anos pós-plantio.

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **Experimento de campo**

O experimento foi instalado em fevereiro de 2008, no campo experimental do Centro de Pesquisas Agrofloretais da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA-CPAFRO), Porto Velho-RO. O ensaio está representado por famílias de meias irmãs de pinhão-manso, oriundas de uma população composta de sementes crioulas de origem genética desconhecida, a partir de plantas selecionadas visualmente no município de Ariquemes-RO.

Avaliaram-se 16 famílias de meias irmãs, no 2<sup>o</sup>, 3<sup>o</sup> e 4<sup>o</sup> anos pós-plantio, instaladas em blocos ao acaso com três repetições, parcelas lineares de oito plantas e espaçamento de 3,0 x 2,0 m. O plantio definitivo foi efetuado com mudas de 30 dias formadas em viveiro, em fevereiro de 2008. No plantio utilizaram-se 200 g de superfosfato triplo, 50 g de FTE e 50 g de cloreto de potássio (KCl), em covas de 20 x 20 x 20 cm. A partir do segundo ano, a adubação foi realizada com a aplicação de 50 g de uréia, 60 g de superfosfato triplo e 40 g de KCl em cobertura, três meses antes das principais colheitas do cultivo na região, as quais acontecem em janeiro e junho. O controle de plantas daninhas foi realizado com capinas manual e química (herbicida). Desde a instalação do experimento não foram usados agroquímicos para controle de pragas e doenças da cultura.

O clima da região do experimento é tropical tipo Aw, quente e úmido, com período seco bem definido de junho a setembro, temperatura média anual de 25 °C, precipitação média anual de 2354 mm e evapotranspiração média anual de 851 mm (Brasil 1992). O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, textura muito argilosa e foi sendo melhorado com a fertilização (Tabela 1).

### **Avaliação da produção de grãos**

A maturação desuniforme dos frutos é uma característica dessa oleaginosa. Na região a planta frutifica durante todo o período chuvoso que vai de Novembro a Junho. A produção de grãos foi avaliada em três anos agrícolas (2009, 2010 e 2011), com a realização de 5 colheitas (Dez/2009, Jun/2009, Jan/2010, Jun/2010, Dez/2011). A colheita de Junho de 2011 não foi realizada devido ao ataque de cigarrinha (*Empoasca* spp.) no período de florescimento e enchimento de grãos, de março a maio de 2011, o que comprometeu a produção.

Os frutos em estágio final de maturação foram colhidos nas árvores e nas projeções das suas copas, secos à sombra por aproximadamente sete dias e depois beneficiados. Após o

beneficiamento, a umidade das sementes foi mensurada. Lotes de sementes com teor de umidade inferior 9% tiveram seu peso avaliado.

### **Análises estatísticas**

Análises de variância, testes de médias e análises gráficas foram processadas com os dados obtidos nos três anos agrícolas. Os dados de produção de grãos foram submetidos à análise de variância em modelo de parcela subdividida, alocando-se blocos e famílias na parcela e anos de produção na subparcela, de acordo com o modelo (Steel et al. 1997, Dias & Barros 2009):

$$Y_{ijk} = u + f_i + b_j + (fb)_{ij} + a_k + (fa)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

$Y_{ijk}$  = é o valor observado na parcela da i-ésima família, no j-ésimo bloco e k-ésimo ano;

$u$  = é a média geral, considerada como efeito fixo;

$f_i$  = é o efeito da i-ésima família, considerado como efeito fixo;

$b_j$  = é o efeito do j-ésimo bloco, considerado como efeito fixo;

$(fb)_{ij}$  = representa o erro experimental a nível de parcelas, considerado como efeito aleatório;

$a_k$  = representa o efeito de anos, considerado efeito fixo;

$(fa)_{ik}$  = é o efeito da interação entre famílias e anos, considerado como aleatório;

$\varepsilon_{ijk}$  = é o erro experimental a nível de subparcelas, considerado como aleatório;

As médias de produção foram agrupadas com o teste de Scott & Knott (1974), a 5% de probabilidade. Todas as análises foram processadas no software Genes (Cruz 2009).

### **Análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica temporal**

A análise de adaptabilidade foi processada com as médias de produção das três repetições, considerando cada ano de produção como um ambiente. A estatística de estabilidade e adaptabilidade adotada foi  $P_i$  de Lin & Binns (1988), definida por:

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^n (Y_{ij} - M_j)^2}{2n}$$

Em que:

$P_i$  é a estimativa da estabilidade e da adaptabilidade da família  $i$ ;  $Y_{ij}$  é a produtividade da família  $i$  no ano de produção  $j$ ;  $M_j$  é a resposta máxima observada entre todas as famílias no ano de produção  $j$ ;  $n$ : número de anos de produção. Lin & Binns (1988), utilizam um só parâmetro de estabilidade, o  $P_i$ . Atribuiu-se a ordem de número 1 ao genótipo com a menor estimativa do respectivo parâmetro, e assim por diante, até a ordem de número  $g$ , atribuída ao genótipo com a maior dessa estimativa.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo Jongschaap et al. (2007), a grande variação observada na produção de grãos dessa oleaginosa deve-se principalmente a diferenças nas condições edafoclimáticas dos seus plantios, estabelecidos em uma extensa faixa entre as latitudes de 30° N e 35° S. No entanto, mesmo em um único ambiente, observa-se grande variação na produção, como revelam os resultados do presente trabalho. Os resultados da análise de variância indicam que os efeitos de famílias e de anos de produção foram significativos, a 1% de probabilidade, para a produção de grãos dessa oleaginosa. Por sua vez, o efeito da interação famílias x anos não foi significativo, indicando que as famílias mantiveram seu desempenho relativo ao longo do tempo, e que os fatores avaliados (famílias e anos) podem ser interpretados separadamente (Tabela 2).

Amplamente utilizado para inferir sobre a precisão experimental, o coeficiente de variação (CV) apresentou magnitude menor do que o observado em outros estudos. Valores entre 25 a 35% foram considerados adequados por diferentes autores na avaliação de

experimentos com essa oleaginosa, em diferentes condições edafoclimáticas (Jongschaap et al. 2007, Juhász et al. 2010, Laviola et al. 2010). Além da boa condução experimental, o menor CV neste estudo deve-se à avaliação de médias de famílias na interpretação do desempenho produtivo dessa oleaginosa.

Avaliações agronômicas têm mostrado variabilidade dos componentes da produção dessa oleaginosa (Mishra 2009). Jongschaap et al. (2007) e Brittain & Lutaladio (2010) reportaram acessos que apresentaram variação em sua produtividade de 0,2 a 2 kg/planta de grãos. A existência de variabilidade genética é condição básica para obtenção de ganhos com a seleção. Segundo Resende (2002), a interpretação de medições ao longo do tempo é fundamental para a caracterização do desempenho produtivo de espécies vegetais perenes que apresentam longo ciclo reprodutivo e expressão diferenciada dos caracteres ao longo do tempo.

De acordo com Brittain & Lutaladio (2010), o pinhão-mansinho necessita de três a quatro anos para atingir a idade produtiva, sendo que poucos estudos quantificaram a produção de árvores com mais de três anos de plantio. No presente estudo, a interpretação das médias de produção das famílias no 2<sup>o</sup>, 3<sup>o</sup> e 4<sup>o</sup> anos pós-plantio evidencia redução da produção de grãos no 4<sup>o</sup> ano de plantio e uma tendência das famílias mais produtivas de manterem sua superioridade ao longo do tempo (Tabela 3, Figura 1). Para comparação do desempenho produtivo das famílias foi utilizado o teste de Scott Knott (1974), a 5% de probabilidade, que permite classificar o desempenho delas em grupos mutuamente exclusivos (Tabela 3). Os resultados indicam que as médias das famílias se diferenciaram nos três anos e que a produtividade reduziu significativamente no 4<sup>o</sup> ano, igualando-se à produtividade do 2<sup>o</sup> ano. A avaliação do desempenho de famílias de meias irmãs é importante devido a possibilidade de se utilizar da semelhança entre parentes, mensurada pela variância genética aditiva, na seleção de plantas, aumentando a possibilidade de se obter ganhos de seleção em

características de menor herdabilidade, tais como a produção de grãos. As famílias 7 e 12 apresentaram o melhor desempenho médio (Tabela 3, Figura 1).

É importante considerar que além das diferenças observadas nas médias das famílias nos três anos de produção, podem existir plantas que se destacam individualmente dentro das famílias. Segundo Resende (2002), os métodos de seleção de plantas perenes devem priorizar os indivíduos, como unidade de seleção, em comparação com famílias, visando maximizar o ganho pela propagação vegetativa das plantas de valor genético superior.

A produção de grãos é uma característica de controle genético complexo, cuja expressão é influenciada pela ação de milhares de genes e pelo efeito do ambiente (Cruz et al. 2004). Expectativas de produtividade não confirmadas dessa oleaginosa, baseadas em observações de plantas isoladas e que não consideram a redução no crescimento da planta que ocorre em plantios adensados, fazem da caracterização do potencial produtivo desse cultivo relevante objeto de pesquisa. No presente estudo, a produção de grãos do 4<sup>o</sup> ano foi menor do que a do 3<sup>o</sup>. O ataque severo de cigarrinha verde (*Empoasca* spp.) e o menor espaçamento entre plantas certamente limitaram a produção do 4<sup>o</sup> ano. A cigarrinha verde é praga-chave do pinhão-manso na região amazônica, com incidência de março a junho. O amarelecimento e encarquilhamento das folhas causados pelo ataque de cigarrinhas resultam na redução da eficiência fotossintética da planta com abortamento de flores e frutos (Saturnino et al. 2005). A colheita de junho de 2011 foi totalmente comprometida pelo ataque dessa praga, reduzindo a produção do 4<sup>o</sup> ano.

A restrição no crescimento vegetativo observada nas plantas que tocaram suas copas no menor espaçamento, logo a partir do segundo ano, foi considerada também um importante fator limitante da produtividade. Avaliações dos componentes de produção dessa oleaginosa indicam que a produção de grãos é influenciada principalmente pelo desenvolvimento de copa das plantas (Spinelli et al. 2010). Associado à redução na produtividade observou-se uma

redução acentuada no crescimento das principais características vegetativas entre o 3<sup>o</sup> e o 4<sup>o</sup> anos de plantio (Figura 2). Resposta semelhante foi observada por Santos et al. (2008), em plantio em espaçamento de 3 x 2 m, em que a média de produção das plantas reduziu de 0,84 kg/planta para 0,55 kg/planta, dos 36 para os 48 meses de plantio. Müller et al. (2008) verificaram correlação entre diferentes espaçamentos e o crescimento de plantas aos 24 meses de plantio, sendo que o espaçamento de 3 x 2 m apresentou os menores crescimentos em altura e diâmetro. Geraldi et al. (2008) observaram que o número de ramos por planta tende a reduzir com o aumento da densidade de plantio. Silva et al. (2011) observaram que plantas avaliadas aos 10, 20 e 30 meses após plantio apresentaram menor crescimento no espaçamento 3 x 1 m. De maneira geral, nestes estudos, os maiores espaçamentos testados resultaram em maiores diâmetros de copa, devido à maior incidência de luz, que estimulou o crescimento lateral das plantas (Müller et al. 2008, Silva et al. 2011).

Além da melhoria das condições de plantio, o aumento da produtividade de grãos dessa oleaginosa depende da identificação de materiais genéticos superiores, com maior eficiência de produção de frutos. Com o objetivo de verificar a existência de famílias de maior produtividade e estabilidade temporal de produção utilizou-se a medida não paramétrica  $P_i$  de Linn & Binns (1988). Estimativas não paramétricas se distinguem pela facilidade de interpretação e por se fundamentarem em poucas pressuposições de análise. O método de Linn & Binns, fundamenta-se na estimativa de  $P_i$  calculado pelo quadrado da diferença entre as famílias avaliadas e a máxima resposta nas medições avaliadas, ponderada por duas vezes o número de medições. Ao estratificar as medições, o método permite o ordenamento das melhores famílias nos anos mais e menos favoráveis para a produção de grãos (Tabela 4). De maneira geral, observou-se uma consistência no ordenamento das famílias, sendo que as famílias 7 e 12 apresentaram melhor desempenho e adaptabilidade em todos os anos de colheita.

Fundamentado nas características do desempenho produtivo quantificadas neste estudo, acredita-se que o pinhão-mansinho tenha potencial para alcançar produtividades mais elevadas com a seleção de plantas e/ou adaptação das práticas de manejo. Abdelgadir et al. (2010) relataram resultados promissores com o uso de reguladores de crescimento e Ghosh et al. (2010) observaram aumento no rendimento de grãos dessa cultura através da aplicação de paclobutrazol aos 24 meses após o plantio. Por sua vez, Santos et al. (2011) observaram que a poda de formação é também uma prática de manejo interessante para incremento da produção. Silva et al. (2012) verificaram que a poda tipo desponte aumentou a produção de grãos por planta e concentrou o ciclo de produção da planta. No entanto, Oliveira & Beltrão (2010) constataram que a poda causou incremento em altura e diâmetro caulinar das plantas, porém sem incremento de produção de grãos.

## **6. CONCLUSÕES**

1- O teste F revelou a existência de variabilidade genética para produção de grãos entre famílias de meias irmãs de pinhão-mansinho, evidenciando possibilidade de obtenção de ganho genético com seleção.

2- O efeito da interação famílias x anos foi não significativo, indicando que as famílias mantiveram seu desempenho ao longo do tempo. As famílias 7 e 12 se destacaram como as mais produtivas e temporalmente estáveis.

3- O severo ataque da cigarrinha e o menor espaçamento entre plantas limitaram a produção do quarto ano pós-plantio.

4- O pinhão-mansinho apresenta potencial para maiores ganhos de produtividade.

## **7. REFERÊNCIAS**

Abdelgadir HA, Jager AK, Johnson SD, Van Staden J (2010) Influence of plant growth

- regulators on flowering, fruiting, seed oil content, and oil quality of *Jatropha curcas*. **South African Journal of Botany** **76**: 440-446.
- Allard RW (1971) **Princípios de melhoramento genético das plantas**. Edgard Blücher, São Paulo.
- Brasil (1992) Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. Departamento Nacional de Meteorologia. Normais climatológicas: 1961-1990. Brasília, DF.
- Brittaine R, Litaladio N (2010) *Jatropha*: a smallholder bioenergy crop the potential for pro-poor development. **Integrated Crop Management** **8**: 1-96.
- Cruz CD (2009) **Programa computacional Genes** - versão 7.0: aplicativo computacional em genética e estatística. UFV, Viçosa.
- Cruz CD, Regazzi AJ, Carneiro PCS (2004) **Modelos biométricos aplicadas ao melhoramento genético**. 3a ed., Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Dias LAS (2011) Biofuel plant species and the contribution of genetic improvement. **Crop Breeding and Applied Biotechnology** **11**(S1): 16-26.
- Dias LAS, Barros WS (2009) **Biometria experimental**. Suprema, Viçosa.
- Dias LAS, Missio RF, Dias DCFS (2012) Antiquity, botany, origin and domestication of *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae), a plant species with potential for biodiesel production. **Genetics and Molecular Research** **11**: 2719-2728.
- Dias LAS, Leme LP, Laviola BG, Pallini Filho A, Pereira OL, Carvalho M, Manfio CE, Santos AS, Souza LCA, Oliveira TS, Dias DCFS (2007) **Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) para produção de óleo combustível**. Suprema, Viçosa, 40p.
- Drumond MA, Santos CAF, Oliveira VR, Martins JC, Anjos JB, Evagelista MRV (2010) Agronomic performance of different genotypes of physic nut in the semi-arid zone of Pernambuco state. **Ciência Rural** **40**: 44-47.

- Francis GR, Edinge R, Becker K (2005) Concept for simultaneous wasteland reclamation, fuel production, and socio economic development in degraded areas in India: need, potential and perspectives of *Jatropha* plantations. **Natural Resources Forum** **29**: 12-24.
- Freitas RG, Missio RF, Matos FS, Resende MDV, Dias LAS (2011) Genetic evaluation of *Jatropha curcas*: an important oilseed for biodiesel production. **Genetics and Molecular Research** **10**: 1490-1498.
- Geraldi L, Nied AH, Vendruscolo MC, Santos RP, Dallacort R, Dalchiavon FC (2008) Avaliação de métodos de implantação da cultura do pinhão-mansão em diferentes densidades de plantas no Mato Grosso. In: **V Congresso brasileiro de plantas oleaginosas, óleos, gorduras e biodiesel**. UFLA, Lavras.
- Ghosh A, Chikara J, Chaudhary DR, Prakash AR, Boricha G, Zala A (2010) Paclobutrazol arrests vegetative growth and unveils unexpressed yield potential of *Jatropha curcas*. **Journal of Plant Growth Regulation** **29**: 307-315.
- Jongschaap REE, Corré WJ, Bindraban PS, Brandenburg WA (2007) **Claims and facts on *Jatropha curcas* L.** Plant Research International B.V., Wageningen, 42p. (Report 158).
- Juhász ACP, Morais DLB, Soares BO, Pimenta S, Rabello HO, Resende MDV (2010) Parâmetros genéticos e ganho com a seleção em populações de pinhão-mansão (*Jatropha curcas*). **Pesquisa Florestal Brasileira** **30**: 25-35.
- Juhász ACP, Pimenta S, Oliveira B, Morais DLB, Rabello HO (2009) Biologia floral e polinização artificial de pinhão-mansão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** **44**: 1073-1077.
- Laviola BG, Alves AA, Gurgel FL, Rosado TB, Costa RD, Rocha RB (2012) Estimate of genetic parameters and predicted gains with early selection of physic nut families. **Ciência e Agrotecnologia** **36**: 163-170.

- Laviola BG, Rocha RB, Kobayash AK, Rosado TB, Bhering LL (2010) Genetic improvement of *Jatropha* for biodiesel production. **Ceiba** **51**: 1-10.
- Lin CS, Binns MR (1988) A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal Plant Science** **68**: 193-198.
- Mishra DK (2009) Selection of candidate plus phenotypes of *Jatropha curcas* L. using method of paired comparisons. **Biomass and Bioenergy** **33**: 542-545.
- Müller MD, Demartini D, Castro CRT, Nascimento Junior ER (2008) Desempenho inicial de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) implantado em sistema silvipastoril. Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora.
- Oliveira SJC & Beltrão NEM (2010) Crescimento do pinhão-mansão em função da poda e da adubação química **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas** **14**: 9-17.
- Rao GR, Korwar GR, Shanker AK, Ramakrishma YS (2008) Genetic associations, variability and diversity in seed characters growth, reproductive phenology and yield in *Jatropha curcas* (L.) accessions. **Trees** **22**: 697-709.
- Resende MDV (2002) **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília.
- Santos MMN, Magalhães ID, Queiroz MF, Castro NH, Samuel AA (2011) Observações preliminares do efeito de poda em três espécies de *Jatropha*. In: **II Congresso brasileiro de pesquisas de pinhão-mansão**. ABIPTI. Brasília
- Santos RP, Nied AH, Dallacort R, Geraldi L, Vendrucolo MC, Cabral EP, Secreti D (2008) Desenvolvimento do pinhão-mansão em diferentes densidades de plantas no primeiro ano em Mato Grosso. In: **V Congresso brasileiro de plantas oleaginosas, óleos, gorduras e biodiesel**. UFLA, Varginha.
- Saturnino HM, Pacheco DD, Kakida J, Tominaga N, Gonçalves NP (2005) Cultura do pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.). **Informe agropecuário** **26**: 44-78.

- Scott AJ, Knott M (1974) A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics** **30**: 507-512.
- Silva YK, Silva CJ, Staut LA, Sá LGN (2011) Crescimento do pinhão-mansó em diferentes espaçamentos em Anastácio-MS. In: **II Congresso brasileiro de pesquisas de pinhão-mansó**. Embrapa, Brasília.
- Silva VA, Moraes DLBM, Kakida J, Ferreira EA, Silva VF (2012) Concentração do ciclo de produção de pinhão-mansó por meio de podas de formação ou de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** **47**: 134-137.
- Spinelli VM, Rocha RB, Ramalho AR, Marcolan AL, Vieira JR, Fernandes CF, Militão JSLT, Dias LAS (2010) Primary and secondary yield components of the oil in physic nut (*Jatropha curcas* L.). **Ciência Rural** **40**: 1752-1758.
- Steel RGD, Torrie JH, Dickey DA (1997) **Principles and procedures of statistics: a biometrical approach**. McGraw-Hill, Michigan.

**Tabela 1.** Atributos químicos do solo na camada de 0-20 cm, avaliados em 2009, 2010 e 2011 na área experimental localizada no município de Porto Velho-RO

Data	pH	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Al+H</b>	<b>Al</b>	<b>M.O.</b>	<b>V</b>
		Mg/dm <sup>3</sup>	----- mmol/dm <sup>3</sup> -----					g/kg	%
09/2009	4,4	3,0	2,54	13,1	9,7	174,9	33,6	23,1	13
09/2010	4,8	2,0	1,03	26,3	17,0	108,9	14,8	25,2	29
09/2011	5,0	2,0	1,23	45,1	21,5	90,8	6,8	27,4	43

**P:** fósforo (Mehlich<sup>-1</sup>), **K:** potássio trocável (Mehlich<sup>-1</sup>), **Ca:** Cálcio trocável, **Mg:** magnésio trocável, **Al+H:** acidez titulável, **Al:** alumínio trocável, **M.O.:** matéria orgânica e **V:** saturação por bases.

**Tabela 2.** Análise de variância da produção de grãos de famílias de meias irmãs de *Jatropha curcas* L., avaliada no 2<sup>o</sup>, 3<sup>o</sup> e 4<sup>o</sup> anos pós-plantio

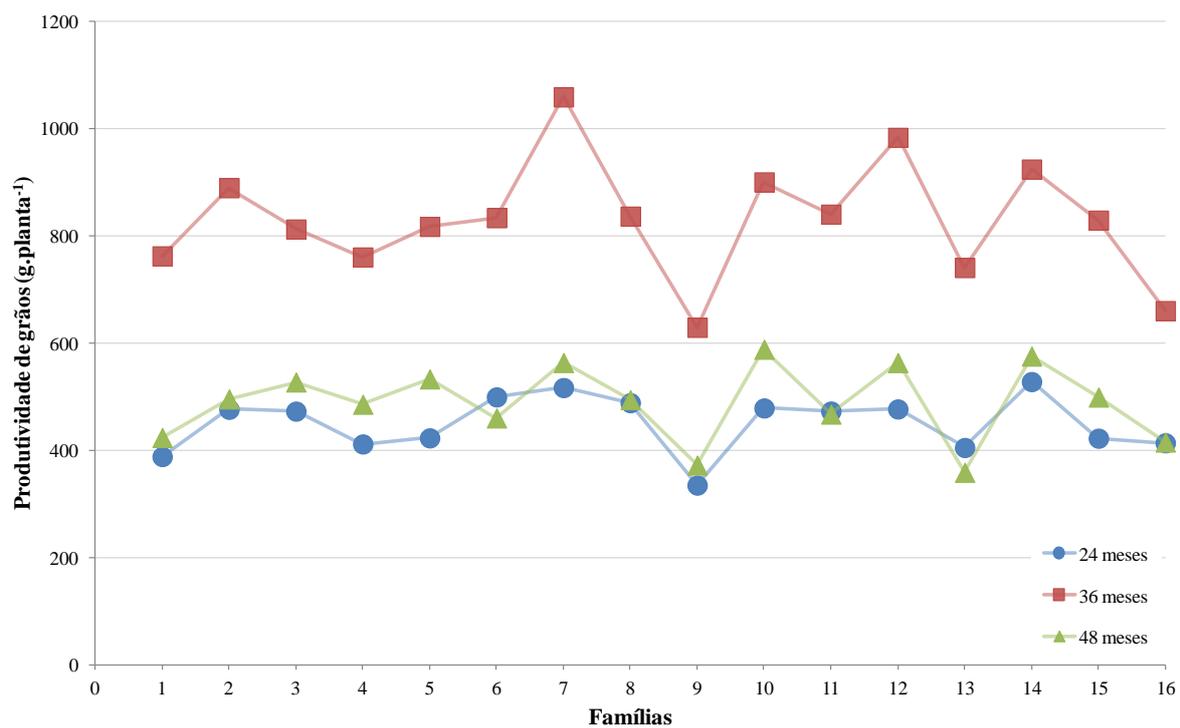
<b>F.V.</b>	<b>gl</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>
Blocos	2	179210		
Famílias	15	709139	47275	2,66*
Erro a	30	531997	17733,23	
Anos	2	4193366	2096683	509,37**
Famílias x Anos	30	177862	5928	1,44
Erro b	64	263438	4116,22	
<b>Total</b>	<b>143</b>			
Média	590,26			
CV <sub>a</sub> (%)	22,56			
CV <sub>b</sub> (%)	10,87			

\*, \*\* Significativo a 5 e a 1% de probabilidade, respectivamente.

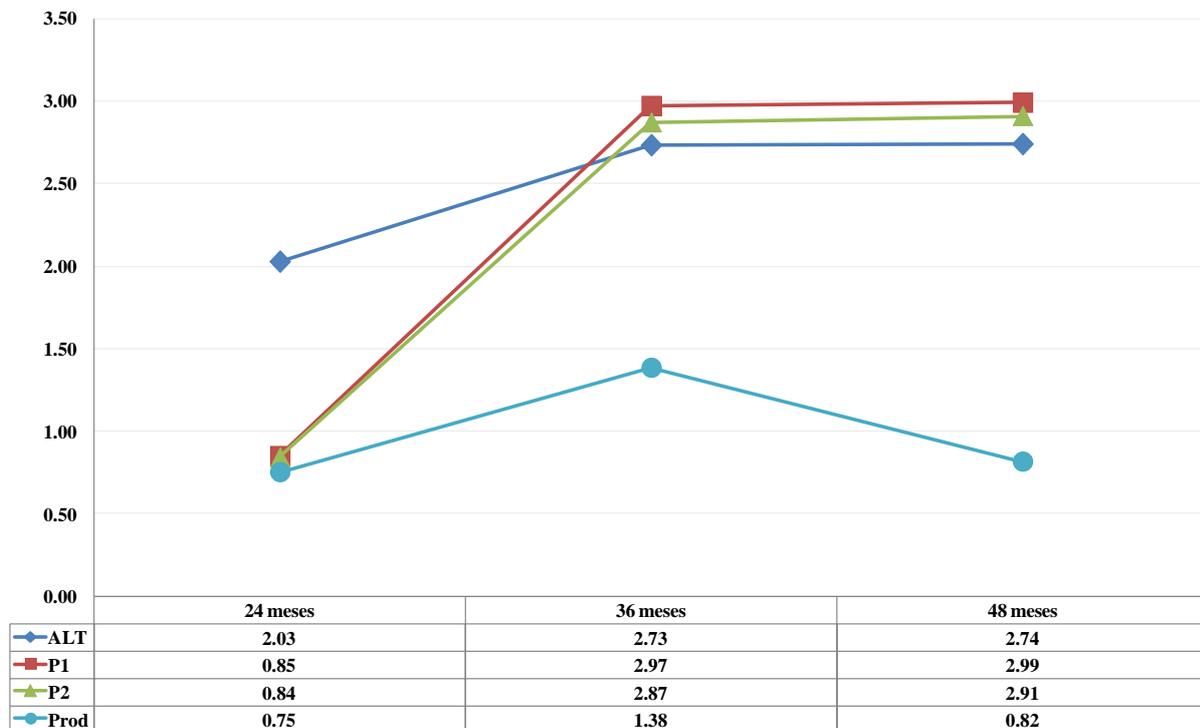
**Tabela 3.** Médias da produção de grãos de famílias de meias irmãs de *Jatropha curcas* L., avaliada no 2<sup>o</sup>, 3<sup>o</sup> e 4<sup>o</sup> anos pós-plantio

<b>Famílias</b>	<b>2<sup>o</sup> ano</b>	<b>3<sup>o</sup> ano</b>	<b>4<sup>o</sup> ano</b>
1	388,40 bB	763,00 cA	424,03 bB
2	476,60 aB	890,20 bA	495,97 aB
3	473,13 aB	813,06 cA	527,60 aB
4	411,87 bB	760,87 cA	486,03 aB
5	423,20 bB	817,93 cA	533,30 aB
6	499,70 aB	834,30 cA	460,40 bB
7	517,13 aB	1059,67 aA	563,93 aB
8	488,90 aB	837,13 cA	494,60 aB
9	335,03 bB	629,57 dA	372,57 bB
10	479,03 aB	901,07 bA	588,70 aB
11	473,23 aB	840,83 cA	467,67 bB
12	477,20 aB	984,20 aA	563,80 aB
13	405,27 bB	741,23 cA	359,10 bB
14	528,33 aB	925,00 bA	575,87 aB
15	422,63 bB	829,67 cA	499,40 aB
16	414,03 bB	660,80 dA	415,50 bB
<b>Média</b>	<b>450,85</b>	<b>830,53</b>	<b>489,27</b>

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na linha constituem grupo estatisticamente homogêneo entre anos. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna constituem grupo estatisticamente homogêneo de famílias dentro de anos.



**Figura 1.** Representação gráfica das médias de produção de grãos das 16 famílias de meias irmãs de *Jatropha curcas* L., no 2<sup>o</sup>, 3<sup>o</sup> e 4<sup>o</sup> anos pós-plantio.



**Figura 2.** Representação gráfica de caracteres de crescimento de famílias de meias irmãs de *Jatropha curcas* L., no 2<sup>o</sup>, 3<sup>o</sup> e 4<sup>o</sup> anos pós-plantio (ALT: Altura de planta, P1: Projeção da copa no sentido do maior espaçamento, P2: Projeção da copa no sentido de menor espaçamento e Prod: Produção em kg/planta).

**Tabela 4.** Estimativas de parâmetros de adaptabilidade e estabilidade temporal para produção de grãos em famílias de meias irmãs de *Jatropha curcas* L., no 2<sup>o</sup>, 3<sup>o</sup> e 4<sup>o</sup> anos de plantio

<b>Família</b>	<b>Média</b>	<b>Pi</b>
7	713,6	123,1
12	675,1	1488,3
14	676,4	3050,0
10	656,3	4597,4
2	620,9	6665,8
8	606,9	9988,5
11	593,9	10928,9
3	604,6	11265,3
6	598,1	11345,2
15	583,9	12007,8
5	591,5	12092,9
4	552,9	18897,7
1	525,1	22451,3
13	501,9	28210,2
16	496,8	33692,9
9	445,7	44844,1

## **Capítulo II**

**Estimativas de parâmetros genéticos com a seleção entre e dentro de famílias de meias  
irmãs de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.)**

## 1. RESUMO

Apesar das suas potencialidades, o pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) encontra-se em processo de domesticação e o incremento da viabilidade econômica, social e ambiental desse cultivo depende de um incremento quantitativo de produtividade. A maturação desuniforme dos frutos e a baixa produtividade de grãos têm se mostrado como as principais limitações desse cultivo devido, sobretudo, ao plantio de genótipos não selecionados. O objetivo deste estudo foi estimar parâmetros genéticos dos principais componentes da produção de grãos visando quantificar o progresso genético com a seleção de plantas. Foram avaliadas 16 famílias de meias irmãs no 2<sup>o</sup>, 3<sup>o</sup> e 4<sup>o</sup> anos pós-plantio, utilizando delineamento de blocos ao acaso, com três blocos e parcelas de oito plantas. As seguintes características foram avaliadas: produção de grãos, número de cachos por planta, número de frutos por cacho, índice de maturação, altura e projeções de copa das plantas. Os principais componentes de produção de grãos apresentaram controle genético predominante. No entanto, o efeito ambiental foi o principal determinante da uniformidade de maturação dos frutos e estratégias de manejo têm maior potencial para impactar na concentração da produção de frutos dessa oleaginosa. Os ganhos genéticos relativos à produção de grãos com o plantio dos genótipos selecionados no 2<sup>o</sup>, 3<sup>o</sup> e 4<sup>o</sup> anos foram, respectivamente, de 33,3%, 41,6% e 56,7%. O desenvolvimento de novos materiais deve considerar ainda estratégias de geração de variabilidade utilizando cruzamentos entre plantas divergentes e de melhores características agrônômicas.

**Palavras-chave:** *Jatropha curcas* L., ganhos com seleção, parâmetros genéticos, produção de grãos.

## 2. ABSTRACT

Despite its potential, the physic nut (*Jatropha curcas* L.) is still in domestication and the increase of its viability depends on a quantitative yield increase. The uneven fruit maturation and the low yield have been considered as the main limitations of this crop, in certain extension due to the planting of non-selected genotypes. The objective of this study was to estimate the genetic parameters of the grain yield components of families at the 2<sup>o</sup>, 3<sup>o</sup> and 4<sup>o</sup> years after planting, in order to quantify the genetic progress with the plant selection. A total of 16 half-sib families were evaluated using a randomized block design with three blocks and eight-plant plots. The following traits were evaluated: grain yield, number of bunches per plant, number of fruits per bunch, maturation index, height and projection of plant crowns. The grain yield traits showed predominant genetic control. However, the environmental effect was determinant to the fruit maturation and management strategies have higher potential to improve this trait. The genetic gains with the vegetative propagation of the selected genotypes were 33.3%, 41.6% and 56.7% at the 2<sup>o</sup>, 3<sup>o</sup> and 4<sup>o</sup> years after planting, respectively. The development of new materials must consider strategies for variability generation as crosses between divergent plants with better agronomic traits.

**Key words:** *Jatropha curcas* L., selection gain, genetic parameters, grain yield.

### 3. INTRODUÇÃO

A utilização de matérias-primas alternativas para a produção do biodiesel possui potencial para diversificar o agronegócio, mas está associada a um risco que o produtor não pode assumir. Entre as plantas denominadas de oleaginosas alternativas, o pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) vem sendo estudado pelo seu potencial rendimento de grãos e qualidade de óleo. Apesar das suas potencialidades, essa oleaginosa encontra-se em processo de domesticação e o incremento da viabilidade econômica, social e ambiental desse cultivo depende de um incremento quantitativo de produtividade. A maturação desuniforme dos frutos e a baixa produtividade de grãos têm se mostrado como as principais limitações dessa oleaginosa.

Da expectativa inicial de 4 t/ha de grãos ou mais, produções inferiores a 2 t/ha estão sendo observadas em diferentes condições edafoclimáticas, seja devido a limitações hídricas ou a ataques de pragas e doenças. A incidência de oídio (*Oidium* sp.) em regiões de cerrado e o ataque da cigarrinha verde (*Empoasca* spp.) têm sido observados em plantios em diversas regiões do mundo, inclusive no Brasil (Dias et al. 2007, Laviola et al. 2010).

Fontes de variabilidade para resistência a oídio, para ausência de toxidez nas sementes e para proporção de flores masculinas e femininas têm sido caracterizadas (Laviola et al. 2010). Outros trabalhos têm confirmado expressiva variação na produção de grãos dessa oleaginosa, entre 0,2 a 2 kg/planta de grãos (Francis et al. 2005, Jongschaap et al. 2007). Diferentes estratégias vêm sendo utilizadas para a seleção de materiais. Drumond et al. (2010) caracterizaram acessos responsivos à melhoria ambiental que produziram 2,1 kg/planta de grãos em sistema irrigado, no 1<sup>o</sup> ano pós-plantio. Por outro lado, em condições de cerrado e sem irrigação, Laviola et al. (2010) observaram variação na produção de grãos de 0 a 180 g/planta entre 110 acessos, também no 1<sup>o</sup> ano de avaliação.

Por se tratar de um cultivo em fase de domesticação, a utilização de medidas repetidas

e a avaliação de plantas em idade produtiva são especialmente importantes para obtenção de estimativas mais acuradas da produção de grãos. Neste caso, a estimação do coeficiente de repetibilidade, o qual mensura a capacidade do indivíduo em manter sua superioridade ao longo do tempo (Cruz et al. 2004), é especialmente importante. A utilização de medidas repetidas e a estratificação ambiental aumentam a acurácia da seleção massal, subsidiando a obtenção de estimativas do progresso genético e do número mínimo de avaliações (Resende et al. 2002). Na seleção de plantas de maior estabilidade e adaptabilidade tem sido utilizada o método da média harmônica da performance relativa dos valores genéticos preditos (MHPRVG). Esse método, proposto por Resende (2004), permite realizar a seleção simultânea de plantas de desempenho superior e de estabilidade produtiva, porém agregando as vantagens dos modelos mistos.

A seleção de plantas baseia-se nos valores genéticos aditivos das matrizes que serão recombinadas e nos valores genotípicos dos genótipos que podem ser propagadas vegetativamente. Para a predição dos ganhos com a seleção é necessário estimar a variância genética aditiva e a variância genética não aditiva, dependendo do método de propagação utilizado. O sucesso do melhoramento genético depende da acurácia da seleção dos indivíduos portadores de maior número de alelos favoráveis (Cruz et al. 2004). Dentre os principais procedimentos para a estimação dos parâmetros genéticos destaca-se o REML/BLUP (máxima verossimilhança restrita/melhor predição linear não-viesada). Esse procedimento tem se consolidado na avaliação genética de espécies perenes, por permitir a predição de valores genéticos associado às observações fenotípicas, ajustando-se os dados aos efeitos fixos e ao número desigual de informações por parcela (Resende 2002).

O objetivo deste estudo foi estimar parâmetros genéticos relativos ao caráter produção de grãos e seus componentes e de caracteres de crescimento, em famílias de meias irmãs de pinhão-manso, no 2<sup>o</sup>, 3<sup>o</sup> e 4<sup>o</sup> anos pós-plantio, e quantificar o ganho genético com a seleção

de plantas.

#### **4. MATERIAL E MÉTODOS**

##### **Experimento de campo**

O experimento foi instalado em fevereiro de 2008, no campo experimental do Centro de Pesquisas Agrofloretais da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA-CPAFRO), Porto Velho-RO. O ensaio está representado por famílias de meias irmãs de pinhão-manso, oriundas de uma população composta de sementes crioulas de origem genética desconhecida, a partir de plantas selecionadas visualmente no município de Ariquemes-RO.

Avaliaram-se 16 famílias de meias irmãs, no 2<sup>o</sup>, 3<sup>o</sup> e 4<sup>o</sup> anos pós-plantio, instaladas em blocos ao acaso com três repetições, parcelas lineares de oito plantas e espaçamento de 3,0 x 2,0 m. O plantio definitivo foi efetuado com mudas de 30 dias formadas em viveiro, em fevereiro de 2008. No plantio utilizaram-se 200 g de superfosfato triplo, 50 g de FTE e 50 g de cloreto de potássio (KCl), em covas de 20 x 20 x 20 cm. A partir do segundo ano, a adubação foi realizada com a aplicação de 50 g de uréia, 60 g de superfosfato triplo e 40 g de KCl em cobertura, três meses antes das principais colheitas do cultivo na região, as quais acontecem em janeiro e junho. O controle de plantas daninhas foi realizado com capinas manual e química (herbicida). Desde a instalação do experimento não foram usados agroquímicos para controle de pragas e doenças da cultura.

O clima da região do experimento é tropical tipo Aw, quente e úmido, com período seco bem definido de junho a setembro, temperatura média anual de 25 °C, precipitação média anual de 2354 mm e evapotranspiração média anual de 851 mm (Brasil 1992). O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, textura muito argilosa e foi sendo melhorado com a fertilização (Tabela 1).

##### **Avaliação da produção de grãos e seus componentes e de caracteres de crescimento**

A maturação desuniforme dos frutos é uma característica dessa oleaginosa. Na região a planta frutifica durante todo o período chuvoso que vai de Novembro a Junho. O rendimento de grãos foi avaliado em três anos agrícolas (2009, 2010 e 2011), com a realização de 5 colheitas (Dez/2009, Jun/2009, Jan/2010, Jun/2010, Dez/2011). A colheita de Junho de 2011 não foi realizada devido ao ataque severo de cigarrinha (*Empoasca* spp.) no período de florescimento e enchimento de grãos, de março a maio de 2011, o que comprometeu a produção.

Os frutos em estágio final de maturação foram colhidos nas árvores e nas projeções das suas copas, secos à sombra por aproximadamente sete dias e depois beneficiados. Após o beneficiamento, a umidade das sementes foi mensurada. Lotes de sementes com teor de umidade inferior 9% foram pesados e anotados, resultando na produção de grãos (PG). O número de frutos maduros foi interpretado como um índice de maturação de frutos (IM) estimado pela razão do número de frutos maduros e o total de frutos produzidos. Também foi computado o número de frutos por cachos (F/C). Os seguintes caracteres vegetativos foram medidos em nível de indivíduo: a) altura de plantas (ALT), em m; b) número de ramos (NR), contados aqueles acima de um metro de altura da planta a partir do solo; c) projeção da copa no sentido do maior espaçamento (P1), em m; d) projeção da copa no sentido do menor espaçamento (P2), em m.

### **Estimativas de parâmetros genéticos**

Para estimação dos componentes de variância utilizou-se o método da Máxima Verossimilhança Restrita (REML), enquanto a predição dos valores genéticos foi processada com o método da Melhor Predição Linear Não Viesada (BLUP). Esses procedimentos estão associados a um modelo linear misto que contém, além da média geral, efeitos aleatórios de tratamentos e de parcelas e efeito fixo de ambientes. As estimativas dos valores genéticos

foram obtidas utilizando o programa Selegen-REML/BLUP, considerando o seguinte modelo linear misto (Resende 2002):

$$y = Xr + Za + Wp + e$$

Em que:  $y$  é o vetor de dados;  $r$  é o vetor dos efeitos de blocos, tomados como fixos e somados à média geral;  $a$  é o vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais, tomados como aleatórios;  $p$  é o vetor dos efeitos de parcelas, tomados como aleatórios;  $e$  é o vetor de erros aleatórios. As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

Entre os parâmetros genéticos mais importantes para a caracterização do controle genético das características destacam-se a herdabilidade, a repetibilidade e a acurácia de seleção. A herdabilidade em sentido restrito mensura a proporção relativa dos efeitos genotípicos na expressão das características. É um dos componentes mais importantes da expressão do progresso genético com a seleção de plantas:

$$h_a^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_a^2 + \sigma_e^2 + \sigma_p^2}$$

em que:  $h_a^2$  = herdabilidade em sentido restrito,  $\sigma_a^2$  = variância genética aditiva,  $\sigma_e^2$  = variância ambiental,  $\sigma_p^2$  = variância entre parcelas.

A avaliação de medidas repetidas no tempo é de grande importância para o melhoramento de espécies perenes, pois permite quantificar a manutenção da superioridade de um genótipo ao longo do tempo. Nesses casos, a seleção deve se basear em modelos que considerem o efeito permanente do ambiente e a correlação fenotípica entre medidas repetidas de mesmo indivíduo, denominada de repetibilidade:

$$y = Xm + Za + Wp + Ts + e$$

em que:  $y$  é o vetor de dados,  $m$  é o vetor dos efeitos das combinações medição-repetição (assumidos fixos), somados à média geral,  $a$  é o vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (assumidos como aleatórios),  $p$  é o vetor dos efeitos de parcelas (aleatórios),  $s$  é vetor dos efeitos permanentes (aleatórios) e  $e$  é o vetor de erros ou resíduos, assumidos como aleatórios. As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

A repetibilidade ( $\rho$ ) que mensura a constância genotípica permanente foi interpretada para avaliar a precisão de se selecionar os clones com medidas repetidas e obtida conforme o estimador (Resende 2002):

$$\rho = \frac{\sigma_a^2 + \sigma_{ep}^2 + \sigma_s^2}{\sigma_y^2}$$

Em que:  $\rho$  = repetibilidade,  $\sigma_a^2$  = variância genética aditiva,  $\sigma_{ep}^2$  = variância dos efeitos permanentes de ambiente,  $\sigma_y^2$  = variância fenotípica.

A acurácia seletiva ( $\hat{r}_{gg}$ ) é uma estimativa de correlação entre o valor genotípico verdadeiro e o estimado, sendo considerada uma importante medida de qualidade dos procedimentos de seleção. A acurácia seletiva para seleção de indivíduos, baseada no comportamento das famílias de meias irmãs, foi obtida conforme Resende (2002):

$$\hat{r}_{gg} = 0,5 \left[ \frac{m.N.h_a^2}{1 + (m-1)\rho + (N-1)m.0,25.h_a^2} \right]$$

sendo  $m$  = número de medidas,  $h_a^2$  = herdabilidade no sentido restrito,  $\rho$  = repetibilidade,  $N$  = número de observações. A acurácia seletiva varia de 0 a 1 e segundo classificação de Resende (2002) pode ser considerada como muito alta ( $\hat{r}_{gg} \geq 0,9$ ), alta ( $0,7 \leq \hat{r}_{gg} < 0,9$ ), moderada ( $0,5 \leq \hat{r}_{gg} < 0,7$ ) e baixa ( $\hat{r}_{gg} < 0,5$ ).

### **Critério para seleção de plantas**

Procedimentos que permitam interpretar, simultaneamente, a adaptabilidade, o desempenho superior, a estabilidade e a manutenção da superioridade ao longo do tempo devem ser considerados na seleção de plantas perenes. Para seleção entre e dentro de famílias foi considerado o procedimento da média harmônica da performance relativa dos valores genéticos (MHPRVG), visando selecionar, simultaneamente, para produtividade e estabilidade. Este método baseia-se em uma propriedade da média harmônica que favorece os genótipos de valor genético superior e que apresentam menor variação entre as colheitas (Resende 2002):

$$MHPRVG_i = \frac{m}{\sum_1^m \frac{1}{VG_{ij}}}$$

$MHPRVG_i$  = média harmônica da performance relativa dos valores genéticos,  $m$  = número de medições (anos),  $VG_{ij}$  = é o valor genotípico da  $i$ -ésima planta no  $j$ -ésimo ano, expresso como proporção da média.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos programas modernos de melhoramento vegetal, o planejamento e a condução dos experimentos se fundamentam na interpretação das estimativas dos parâmetros genéticos que permitem inferir a qualidade experimental, a proporção da variância total devida às diferenças genéticas e a predição do ganho com a seleção de plantas (Cruz et al. 2004). Em plantas perenes, a estimação dos parâmetros genéticos deve considerar medições ao longo do tempo, plantio adensado e plantas em idade produtiva (Resende 2002). Certamente no melhoramento de *J. curcas* poucos trabalhos apresentam resultados que atendem a essas condições.

A variância genética aditiva é um dos componentes mais importantes da variância genotípica. A relação entre a variância genética aditiva ( $V_a$ ) e a variância fenotípica ( $V_f$ ), denominada de herdabilidade em sentido restrito, mensura a contribuição dos genes na

expressão das características. No 2<sup>o</sup> ano pós-plantio, maiores estimativas de herdabilidade em sentido restrito foram observadas para a maioria das características (Tabela 2). De maneira geral, observa-se coincidência com o ordenamento das estimativas de herdabilidade no 3<sup>o</sup> ano pós-plantio ( $F/C \geq NR \geq PG \geq ALT \geq P1 \geq NC \geq P2 \geq IM$ , Tabelas 2 e 3). Esse ordenamento indica a utilidade dessas características para a seleção de plantas, uma vez que a variância genética aditiva está associada ao efeito médio de substituição gênica obtido com a recombinação das plantas selecionadas.

No 2<sup>o</sup> ano pós-plantio, as características ALT, NR e P1 apresentaram valores de herdabilidade em sentido restrito entre 0,39 e 0,56, indicando a importância do componente genético aditivo na sua expressão (Tabela 2). Laviola et al. (2010) observaram que características vegetativas apresentaram maiores estimativas de herdabilidade em sentido restrito. No entanto, observou-se uma tendência de redução nessas estimativas com o passar do tempo.

A utilização de espaçamento de 2 metros entre plantas reduziu o crescimento da projeção de copa das plantas a partir do 2<sup>o</sup> ano pós-plantio, tendo limitado a avaliação desta característica nos anos subsequentes (Tabelas 2 e 3). A avaliação de plantas em espaçamentos menos restritos mostra uma tendência contrária à observada, no caso de aumento da herdabilidade com o passar dos anos. Ginwal et al. (2005) quantificaram estimativas de herdabilidade em sentido amplo de 0,89 para a altura em plantas, avaliadas aos seis meses de idade, e 0,97 aos 24 meses de plantio. Rao et al. (2008) encontraram herdabilidade em sentido amplo de 0,88 para altura de planta aos 34 meses de plantio.

Ainda considerada como uma planta em fase de domesticação, a viabilidade deste cultivo depende de um aumento quantitativo da produtividade. Associações positivas entre o número de ramos e altura de plantas com produtividade foram observadas por Rao et al. (2008) e por Spinelli et al. (2010). Os coeficientes de variação da produção de grãos indicam

que a magnitude do erro experimental é semelhante ao observados em outros trabalhos (Juhász et al. 2010, Laviola et al. 2010). Segundo Cruz et al. (2004), características provenientes de contagens, tais como número de ramos e o índice de maturação tendem a apresentar maiores valores de coeficiente de variação. De maneira geral, para estas características observa-se uma tendência de redução dos valores do coeficiente de variação ambiental a partir do 2<sup>o</sup> ano pós-plantio.

O coeficiente de variação genética expressa a magnitude da variação genética em relação à média do caráter e indica a presença de variabilidade genética na população avaliada (Tabelas 2 e 3). Já o coeficiente de variação relativa ( $CV_r$ ) mensura a relação entre o coeficiente de variação genético e o coeficiente de variação ambiental. No 2<sup>o</sup> ano pós-plantio, maiores relações entre os coeficientes de variação genético e experimental foram observadas para as características:  $P1=F/C \geq NR \geq ALT=PG \geq NC \geq IM \geq P2$  (Tabela 2). No 3<sup>o</sup> ano pós-plantio, esse ordenamento mudou (Tabela 3). Segundo Vencovsky (1987), o maior valor desta estimativa está associado às características com maiores possibilidades de obtenção de ganhos com a seleção.

Visando melhor entendimento do potencial produtivo, outros componentes da produção de grãos foram avaliados no 2<sup>o</sup> e 3<sup>o</sup> anos pós-plantio. O índice de maturação dos frutos, o qual representa o percentual de frutos maduros no momento da colheita, indica uma predominância do efeito ambiental no desenvolvimento dos frutos dessa oleaginosa (Tabelas 2 e 3). A desuniformidade de maturação dos frutos é uma característica dessa oleaginosa que floresce constantemente durante o período das chuvas, sendo a colheita realizada após o acúmulo de três a quatro floradas de maior vigor. A predominância do componente ambiental em relação ao componente genético indica pequenos ganhos com a seleção desta característica.

As flores femininas abrem-se em dias diferentes, forçando a polinização cruzada; os estigmas tornam-se receptíveis depois que a flor se abre e permanecem assim por três dias; as flores não polinizadas caem no quanto dia. A hibridação artificial de plantas é um dos recursos utilizados para reunir características desejáveis em diferentes genitores em um único indivíduo, atendendo a determinada necessidade do programa de melhoramento da espécie, do produtor ou das necessidades de um nicho de mercado (Pimenta et al. 2009).

Por sua vez, o número de frutos por cacho apresentou maior potencial para seleção do que o número de cachos por planta, diferentemente do observado por Borges (2012). Esse autor não observou variabilidade genética para número de frutos por cacho, em população estruturada em procedências. A avaliação de famílias de meias irmãs, no presente estudo, permite explorar a variância genética aditiva na seleção de plantas para obtenção de ganhos em características de menor herdabilidade, aumentando a possibilidade de se obter ganhos com a seleção.

No 4<sup>o</sup> pós-plantio, com o completo desenvolvimento das plantas resultando no entrelaçamento das copas, as características vegetativas como número de frutos por cacho, índice de maturação e número de ramos não puderam ser avaliadas. Desta forma, realizou-se apenas, a avaliação da produção de grãos e das principais características de arquitetura de copa, tal como já avaliadas para o 2<sup>o</sup> e 3<sup>o</sup> anos pós-plantio (Tabela 4).

Avaliações agronômicas têm mostrado variabilidade dos componentes da produção dessa oleaginosa (Mishra 2009). Brittain & Litaladio (2010) e Jongschaap et al. (2007) reportaram acessos que apresentavam variação em sua produtividade de 0,2 a 2 kg/planta de grãos. Segundo Jongschaap et al. (2007), a grande variação que tem sido observada na produção de grãos dessa oleaginosa deve-se principalmente às diferenças nas condições edafoclimáticas dos seus plantios, estabelecidos em uma extensa faixa entre as latitudes de 30° N e 35° S. No entanto, mesmo em um único ambiente, observou-se que o plantio de

materiais não selecionados é um importante fator de variação da produção de grãos. Dos 384 genótipos avaliados no presente estudo, 40 deles (10%) produziram menos de 300 g/ano de frutos, sem apresentar resposta à melhoria do ambiente. A seleção de genótipos responsivos a melhoria ambiental é fator determinante para o aumento da produtividade dessa oleaginosa. Melhorias nas condições do experimento foram obtidas pela calagem em área total e adubação química por cobertura realizada antes das principais colheitas, conforme resultados das análises de solo realizadas de agosto de 2008 a setembro de 2010 (Tabela 1).

De acordo com Brittain & Litaladio (2010), o pinhão-mansinho necessita de três a quatro anos para atingir a idade produtiva. A interpretação de medições ao longo do tempo é fundamental para a caracterização do desempenho produtivo de perene que se caracteriza pelo seu longo ciclo reprodutivo e expressão diferenciada dos caracteres ao longo do tempo (Resende 2002). Jongschaap et al. (2007) e Laviola et al. (2010) observaram coeficiente de repetibilidade entre 0,4 e 0,6 para produção de grãos de *J. curcas*, valores estes, compatíveis com a estimativa obtida neste trabalho ( $\rho = 0,52$ ).

A correlação entre os valores genotípicos verdadeiros e os valores estimados, interpretada como a acurácia do procedimento de seleção, quantifica a eficácia da inferência do valor genotípico em função do número de colheitas avaliadas. Segundo classificação de Resende (2002), o valor da acurácia da seleção evidenciou precisão satisfatória nas inferências dos valores genotípicos ( $r_{gg} = 0,68$ ), indicando que a condução experimental foi apropriada e as avaliações das 5 colheitas suficientes para a caracterização dos genótipos superiores.

A seleção de plantas de maior potencial produtivo é considerada uma das melhores alternativas para o aumento da produtividade, sem aumento de custos adicionais. 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

(Dias et al. 2012). Dois critérios foram considerados para a seleção de matrizes: a intensidade de seleção, definida pela maximização do limite inferior do intervalo de confiança do ganho genético corrigido para endogamia, e o número efetivo. O ganho genético é diretamente proporcional à intensidade de seleção. A maximização do limite inferior do intervalo de confiança do ganho genético ocorreu com a seleção das doze melhores plantas provenientes de apenas 7 famílias. O progresso genético na produção acumulada estimado com a seleção destes indivíduos foi de 42% (Tabela 5). Além deste critério, também foi considerada a necessidade de se trabalhar com maior número de indivíduos para assegurar um número efetivo mínimo, que permita a manutenção da variabilidade nas etapas seguintes de seleção (Resende 2002). Pela associação destes dois critérios, além dos 12 indivíduos de melhor desempenho também foram selecionados os melhores indivíduos de cada família permitindo a elevação do número efetivo de 7,7 para 18,2. O progresso genético na produção acumulada estimado com a seleção destes indivíduos foi de 25% (Tabela 6).

A seleção de plantas nas condições edafoclimáticas dos trópicos favorece a caracterização local de genótipos adaptados a temperatura e umidade elevadas, menor irradiação solar e período seco bem definido. A clonagem das plantas, seja pelo plantio de estacas da haste vegetativa ou por cultura de tecidos, permite a exploração do valor genotípico completo do indivíduo. Entre os genótipos de desempenho superior para produção foram agrupados os 12 melhores clones que maximizam o ganho genético (Tabela 5).

Os ganhos genéticos percentuais para a produção de grãos com o plantio dos genótipos selecionados no 2<sup>o</sup>, 3<sup>o</sup> e 4<sup>o</sup> anos pós-plantio foram, respectivamente, 33,3, 41,6, 56,7, que equivale a uma produção de 1,0, 2,0 e 1,3 t/ha (Tabela 5). O ganho de seleção obtido com o plantio de clones foi menor do que o observado em outros cultivos. A ocorrência de diferentes níveis de endogamia nas famílias, resultantes de autofecundações, é a hipótese mais provável para os valores moderados estimados. Observação de segregação de

plantas albinas na proporção de 3:1 reforçam a hipótese de avaliação de plantas aparentadas. Segundo Rosado et al. (2010), o cultivo por vários anos de plantas isoladas dessa oleaginosa em território brasileiro têm favorecido a autofecundação entre plantas. Utilizando marcadores moleculares, Laviola et al. (2012) observaram que mesmo em plantios adensados, essa oleaginosa apresenta uma taxa natural de 30% de autofecundação.

Em alguns aspectos, os resultados do presente estudo levantam mais questões do que oferecem respostas da melhor maneira de uso dessa oleaginosa para produção de biodiesel. A constatação de que a uniformidade de maturação apresenta efeito ambiental predominante indica que práticas de manejo têm maior potencial para concentrar a colheita dessa oleaginosa. Trabalhos recentes indicam resultados promissores com a utilização de reguladores de crescimento para aumento da uniformidade de maturação e produção dessa oleaginosa (Abdelgadir et al. 2010, Ghosh et al. 2010). Também se destaca a boa adaptação dessa oleaginosa à região que se caracteriza pela alta pluviosidade e déficit hídrico bem definido, que contribuem para uma colheita antecipada em relação a outras regiões do país, fora da época de incidência das principais pragas desse cultivo.

Embora expressivo e acurado, o progresso genético estimado neste trabalho não parece ser suficiente para prover um incremento quantitativo na produtividade dessa oleaginosa. O desenvolvimento de novos materiais deve considerar estratégias de geração de variabilidade, utilizando cruzamentos entre plantas divergentes e de melhores características agrônômicas.

## **6. CONCLUSÕES**

1- A produção de grãos apresenta controle genético predominante, podendo ser obtidos ganhos com a seleção dessa oleaginosa.

2- O efeito ambiental é o principal determinante da uniformidade de maturação dos frutos e métodos de manejo têm maior potencial para impactar na concentração da produção de frutos dessa oleaginosa.

3- O método de seleção entre e dentro de famílias utilizando medidas repetidas mostrou-se adequado para seleção de plantas

4- O desenvolvimento de novos materiais deve considerar estratégias de geração de variabilidade utilizando cruzamentos entre plantas divergentes e de melhores características agronômicas.

6- O pinhão-manso apresenta potencial para maiores ganhos de produtividade.

## 7. REFERÊNCIAS

- Abdelgadir HA, Jager AK, Johnson SD, Van Staden J (2010) Influence of plant growth regulators on flowering, fruiting, seed oil content, and oil quality of *Jatropha curcas*. **South African Journal of Botany** 76: 440-446.
- Borges CV (2012) **Capacidade produtiva e progresso genético de procedências de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em Porto Velho**. UFAM, Manaus, 61p. (Dissertação de Mestrado).
- Brasil (1992) Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. Departamento Nacional de Meteorologia. Normais climatológicas: 1961-1990. Brasília, DF.
- Brittaine R, Litaladio N (2010) *Jatropha*: a smallholder bioenergy crop the potential for poor development. **Integrated Crop Management** 8: 1-96.
- Cruz CD, Regazzi AJ, Carneiro PCS (2004) **Modelos biométricos aplicadas ao melhoramento genético**. 3a ed., Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

- Dias LAS, Leme LP, Laviola BG, Pallini Filho A, Pereira OL, Carvalho M, Manfio CE, Santos AS, Souza LCA, Oliveira TS, Dias DCFS (2007) **Cultivo de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) para produção de óleo combustível.** Suprema, Viçosa.
- Drumond MA, Santos CAF, Oliveira VR, Martins JC, Anjos JB, Evagelista MRV (2010) Agronomic performance of different genotypes of physic nut in the semi-arid zone of Pernambuco state. **Ciência Rural 40:** 44-47.
- Francis GR, Edinge R, Becker K (2005) Concept for simultaneous wasteland reclamation, fuel production, and socio economic development in degraded areas in India: Need, potential and perspectives of *Jatropha* plantations. **Natural Resources Forum 29:** 12-24.
- Ginwal HS, Phartyal SS, Rawat PS, Srivastava RL (2005) Seed source variation in morphology, germination and seedling growth of *Jatropha curcas* (L.), in Central India. **Silvae Genetica 54:** 76-80.
- Ghosh A, Chikara J, Chaudhary DR, Prakash AR, Boricha G, Zala A (2010) Paclobutrazol arrests vegetative growth and unveils unexpressed yield potential of *Jatropha curcas*. **Journal of Plant Growth Regulation 29:** 307-315.
- Jongschaap REE, Corré WJ, Bindraban PS, Brandenburg WA (2007) **Claims and facts on *Jatropha curcas* L.** Plant Research International B.V., Wageningen, 42p. (Report 158).
- Juhász ACP, Morais DLB, Soares BO, Pimenta S, Rabello HO, Resende MDV (2010) Parâmetros genéticos e ganho com a seleção em populações de pinhão-mansão (*Jatropha curcas*). **Pesquisa Florestal Brasileira 30:** 25-35.
- Laviola BG, Alves AA, Gurgel FL, Rosado TB, Costa RD, Rocha RB (2012) Estimate of genetic parameters and predicted gains with early selection of physic nut families. **Ciência e Agrotecnologia 36:** 163-170.
- Laviola BG, Rocha RB, Kobayash AK, Rosado TB, Bhering LL (2010) Genetic improvement of *Jatropha* for biodiesel production. **Ceiba 51:** 1-10.

- Mishra DK (2009) Selection of candidate plus phenotypes of *Jatropha curcas* L. using method of paired comparisons. **Biomass and Bioenergy** **33**: 542-545.
- Pimenta S, Juhász ACP, Soares BO, Rabello H (2009) Hibridação artificial em plantas de *Jatropha curcas* L. In: **I Congresso brasileiro de pesquisas de pinhão-manso**. ABIPTI Brasília.
- Rao GR, Korwar GR, Shanker AK, Ramakrishma YS (2008) Genetic associations, variability and diversity in seed characters growth, reproductive phenology and yield in *Jatropha curcas* (L.) accessions. **Trees** **22**: 697-709.
- Resende MDV (2002) **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília.
- Resende MDV (2004) **Métodos estatísticos ótimos na análise de experimentos de campo**. Embrapa Florestas, Colombo, 65p. (Documentos 100).
- Rosado TB, Laviola BG, Farias DA, Pappas MR, Bhering LL, Quirino B, Grattapaglia D (2010) Molecular markers reveal limited genetic diversity in a large germplasm collection of the biofuel crop L. in Brazil. **Crop Science** **50**: 2372-2382.
- Spinelli VM, Rocha RB, Ramalho AR, Marcolan AL, Vieira JR, Fernandes CF, Militão JSLT, Dias LAS (2010) Primary and secondary yield components of the oil in physic nut (*Jatropha curcas* L.). **Ciência Rural** **40**: 1752-1758.
- Vencovsky R (1987) Herança quantitativa. In: Parteniani E, Viégas TGP (eds.) **Melhoramento e produção do milho**. 2a ed., Fundação Cargill, Campinas, p. 137-214.

**Tabela 1.** Atributos químicos do solo na camada de 0-20 cm, avaliados em 2009, 2010 e 2011 na área experimental localizada no município de Porto Velho-RO

Data	pH	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Al+H</b>	<b>Al</b>	<b>M.O.</b>	<b>V</b>
		Mg/dm <sup>3</sup>	----- mmol/dm <sup>3</sup> -----					g/kg	%
09/2009	4,4	3,0	2,54	13,1	9,7	174,9	33,6	23,1	13
09/2010	4,8	2,0	1,03	26,3	17,0	108,9	14,8	25,2	29
09/2011	5,0	2,0	1,23	45,1	21,5	90,8	6,8	27,4	43

**P:** fósforo (Mehlich<sup>-1</sup>), **K:** potássio trocável (Mehlich<sup>-1</sup>), **Ca:** Cálcio trocável, **Mg:** magnésio trocável, **Al+H:** acidez titulável, **Al:** alumínio trocável, **M.O.:** matéria orgânica e **V:** saturação por bases.

**Tabela 2.** Estimativas de parâmetros genéticos estimados no 2<sup>o</sup> ano pós-plantio, dos principais componentes de produção em *Jatropha curcas* como: produção de grãos (PG); número de cachos da primeira colheita do ano (NC); número de frutos por cacho da primeira colheita do ano (F/C); índice de maturação (IM); número de ramos (NR); altura de plantas (ALT); projeção da copa no sentido do maior espaçamento (P<sub>1</sub>) e projeção da copa no sentido do menor espaçamento (P<sub>2</sub>)

Parâmetro	Componentes de produção							
	PG	NC	F/C	IM	NR	ALT	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>
V <sub>a</sub>	7908,79	35,51	1,84	0,00264	10,55	0,0170	0,045	0,0005
V <sub>parc</sub>	524,12	0,208	0,27	0,00025	0,46	0,0001	0,001	0,0001
V <sub>e</sub>	12540,38	78,65	1,39	0,03327	13,44	0,0270	0,034	0,0720
V <sub>f</sub>	20973,29	114,37	3,50	0,03616	24,45	0,0441	0,080	0,0725
h <sup>2</sup> <sub>a</sub>	0,38	0,31	0,52	0,07	0,43	0,39	0,56	0,01
	[0,18]	[0,16]	[0,20]	[0,07]	[0,18]	[0,18]	[0,30]	[0,01]
c <sup>2</sup> <sub>parc</sub>	0,024	0,001	0,077	0,01	0,018	0,002	0,016	0,00012
Acurácia	0,49	0,45	0,56	0,22	0,51	0,5	0,57	0,72
CV <sub>g</sub>	19,73	15,16	33,06	7,34	30,16	6,45	24,99	2,66
CV <sub>e</sub>	31,72	27,18	43,85	27,07	45,48	10,38	33,11	32,05
CV <sub>r</sub>	0,62	0,56	0,75	0,27	0,66	0,62	0,75	0,08
Média geral	450,85	39,31	4,1	0,70	10,77	2,02	0,85	0,84

V<sub>a</sub>: variância genética aditiva, V<sub>parc</sub>: variância ambiental entre parcelas, V<sub>e</sub>: variância residual, V<sub>f</sub>: variância fenotípica individual, h<sub>2a</sub>: herdabilidade individual no sentido restrito, c<sub>2parc</sub>: coeficiente de determinação dos efeitos da parcela, CV<sub>g</sub>: coeficiente de variação genético, CV<sub>e</sub>: coeficiente de variação residual, CV<sub>r</sub>: coeficiente de variação relativo.

**Tabela 3.** Estimativas de parâmetros genéticos estimados no 3<sup>o</sup> ano pós-plantio, dos principais componentes de produção em *Jatropha curcas* como: produção de grãos (PG); número de cachos da primeira colheita do ano (NC); número de frutos por cacho da primeira colheita do ano (F/C); índice de maturação (IM); número de ramos (NR); altura de plantas (ALT); projeção da copa no sentido do maior espaçamento (P<sub>1</sub>); projeção da copa no sentido do menor espaçamento (P<sub>2</sub>)

Parâmetro	Componentes de produção							
	PG	NC	F/C	IM	NR	ALT	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>
V <sub>a</sub>	36175,26	12,9405	0,4025	0,0001	20,05	0,021	0,021	0,0005
V <sub>parc</sub>	9037,61	2,459	0,009	0,0000	0,029	0,0000	0,00018	0,0001
V <sub>e</sub>	45144,74	53,148	0,326	0,0160	19,87	0,047	0,0567	0,081
V <sub>f</sub>	90357,61	68,55	0,7375	0,0161	39,949	0,068049	0,07788	0,0816
h <sup>2</sup> <sub>a</sub>	0,40	0,19	0,55	0,01	0,50	0,31	0,27	0,01
	[0,18]	[0,12]	[0,21]	[0,01]	[0,19]	[0,15]	[0,15]	[0,01]
c <sup>2</sup> <sub>parc</sub>	0,10	0,03	0,01	0,00	0,07	0,01	0,02	0,01
Acurácia	0,50	0,35	0,57	0,07	0,54	0,44	0,43	0,06
CV <sub>g</sub>	22,90	13,66	17,10	1,57	17,91	5,31	4,88	0,78
CV <sub>e</sub>	34,34	30,86	23,01	18,94	25,27	9,55	9,39	9,95
CV <sub>r</sub>	0,67	0,44	0,74	0,08	0,71	0,56	0,52	0,08
Média geral	830,53	26,34	3,71	0,67	25,00	2,73	2,97	2,87

V<sub>a</sub>: variância genética aditiva, V<sub>parc</sub>: variância ambiental entre parcelas, V<sub>e</sub>: variância residual, V<sub>f</sub>: variância fenotípica individual, h<sub>2a</sub>: herdabilidade individual no sentido restrito, c<sub>2parc</sub>: coeficiente de determinação dos efeitos da parcela, CV<sub>g</sub>: coeficiente de variação genético, CV<sub>e</sub>: coeficiente de variação residual, CV<sub>r</sub>: coeficiente de variação relativo.

**Tabela 4.** Estimativas de parâmetros genéticos da produção de grãos (g/planta) e das principais características de arquitetura de copa avaliadas em *Jatropha curcas*, no 2<sup>o</sup>, 3<sup>o</sup> e 4<sup>o</sup> anos pós-plantio

Parâmetro	Componentes de produção			
	PG	ALT	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>
V <sub>a</sub>	17842,89	0,01463	0,0023	0,0001
V <sub>parc</sub>	8053,09	0,01097	0,04479	0,00001
V <sub>perm</sub>	3715,24	0,00004	0,00006	0,00006
V <sub>e</sub>	27449,98	0,04016	0,074	0,018
V <sub>f</sub>	57061,2	0,0658	0,12115	0,01817
h <sup>2</sup> <sub>a</sub>	0,31	0,22	0,02	0,01
	[0,10]	[0,08]	[0,01]	[0,01]
r	0,52	0,39	0,38	0,02
	[0,06]	[0,05]	[0,06]	[0,06]
c <sup>2</sup> <sub>parc</sub>	0,14	0,16	0,36	0,16
c <sup>2</sup> <sub>perm</sub>	0,06	0,0007	0,0005	0,001
Média geral	222,96	2,78	2,40	2,19

PG: produção de grãos, ALT: altura de plantas, P<sub>1</sub>: projeção de copa no menor espaçamento, P<sub>2</sub>: projeção de copa no maior espaçamento, V<sub>a</sub>: variância genética aditiva, V<sub>parc</sub>: variância ambiental entre parcelas, V<sub>perm</sub>: variância dos efeitos permanentes de ambiente, V<sub>e</sub>: variância residual, V<sub>f</sub>: variância fenotípica individual, h<sup>2</sup><sub>a</sub>: herdabilidade individual no sentido restrito, r: repetibilidade individual, c<sup>2</sup><sub>parc</sub>: coeficiente de determinação dos efeitos da parcela, c<sup>2</sup><sub>perm</sub>: coeficiente de determinação dos efeitos permanentes de ambiente.

**Tabela 5.** Estimativas de valores genotípicos acrescidos a média geral produção de grãos (g/planta) de *Jatropha curcas*, relativas a 12 plantas selecionadas para serem propagadas vegetativamente

Ordem	Bloco	Família	Planta	Anos pós-plantio			PG	MHPRVG
				2 <sup>o</sup>	3 <sup>o</sup>	4 <sup>o</sup>		
1	1	10	7	541,83	1501,53	1004,34	3047,70	1,60
2	3	8	7	693,21	1158,55	713,86	2565,62	1,46
3	1	7	4	570,68	1297,20	736,39	2604,26	1,43
4	3	12	1	644,69	1138,45	721,14	2504,29	1,42
5	3	12	4	564,67	1302,04	719,83	2586,54	1,42
6	3	7	5	657,40	1107,90	681,75	2447,05	1,39
7	2	6	2	684,15	1061,67	686,63	2432,46	1,39
8	1	14	3	604,57	1029,22	809,57	2443,36	1,39
9	1	1	6	623,03	988,42	806,69	2418,15	1,38
10	1	7	8	461,43	1212,33	880,02	2553,77	1,35
11	2	10	2	625,11	1138,02	751,41	2354,53	1,35
12	3	7	1	540,75	1176,67	689,13	2406,54	1,34
<b>Média geral</b>				450,85	830,53	489,27	1773,07	
<b>Nova Média</b>				600,96	1176,00	766,73	2530,36	
<b>Ganho de seleção (%)</b>				33,29	41,60	56,71	42,71	

PG: produção de grãos, MHPRVG: média harmônica da performance relativa dos valores genéticos, Ne: Tamanho efetivo populacional.

**Tabela 6.** Estimativas de valores genéticos aditivos acrescidos à média geral da produção de grãos (g/planta) de *Jatropha curcas*, relativas a 23 plantas selecionadas para compor uma unidade de recombinação

Ordem	Bloco	Família	Planta	Anos pós-plantio			PG	MHPRVG	Ne
				2 <sup>o</sup>	3 <sup>o</sup>	4 <sup>o</sup>			
1	1	10	7	513,43	1254,3	828,89	2596,62	1,41	1,0
2	1	7	4	541,4	1179,29	660,54	2381,23	1,31	2,0
3	3	12	1	574,64	1061,4	651,35	2287,38	1,29	3,0
4	3	7	5	593,44	1065,71	627,75	2286,91	1,29	3,5
5	3	12	4	526,63	1159,55	650,56	2336,74	1,29	4,1
6	3	8	7	607,02	1029,33	625,8	2262,15	1,28	5,1
7	1	14	3	564,87	978,09	708,1	2251,06	1,28	6,1
8	1	7	8	475,86	1128,37	746,71	2350,94	1,28	6,3
9	3	7	1	523,45	1106,98	632,18	2262,6	1,26	6,3
10	2	14	3	529,08	1007,17	665,47	2201,73	1,24	6,9
11	2	10	2	563,4	976,19	641,13	2180,72	1,24	7,6
12	3	7	8	529,46	1056,21	628,69	2214,37	1,24	7,7
13	1	1	6	536,8	905,0	667,2	2109,0	1,20	8,6
14	2	2	1	514,7	1032,5	561,7	2108,9	1,20	9,5
15	2	3	2	524,4	1033,1	576,8	2134,2	1,20	10,4
16	2	4	7	443,7	952,5	669,0	2065,3	1,10	11,4
17	3	5	8	514,4	918,7	679,2	2112,4	1,20	12,3
18	2	6	2	604,6	970,3	599,0	2173,9	1,20	13,3
19	3	9	5	391,8	786,0	399,0	1576,8	0,90	14,3
20	2	11	5	506,3	945,5	599,7	2051,5	1,20	15,2
21	2	13	4	471,1	812,3	432,3	1715,7	1,00	16,2
22	2	15	1	475,2	1002,5	601,7	2079,5	1,20	17,2
23	2	16	3	467,8	880,5	543,5	1891,8	1,10	18,2
<b>Média geral</b>				450,85	830,53	489,27	1773,07		
<b>Nova Média</b>				526,33	1047,32	643,517	2217,17		
<b>Ganho de seleção (%)</b>				16,74	26,10	31,53	25,05		

PG: produção de grãos, MHPRVG: média harmônica da performance relativa dos valores genéticos, Ne: Tamanho efetivo populacional