

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
TROPICAL

The seal of the Universidade Federal do Amazonas is a circular emblem. It features a central figure of a hand holding a branch, surrounded by a laurel wreath. Above the wreath are three stars. The text "UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS" is inscribed along the top inner edge, and "IN UNIVERSA SCIENTIA VERITAS" is inscribed along the bottom inner edge.

CAPACIDADE PRODUTIVA E PROGRESSO GENÉTICO DE  
PINHÃO-MANSO (*Jatropha curcas* L.).

CATIELE VIEIRA BORGES

MANAUS  
2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
TROPICAL

CATIELE VIEIRA BORGES

CAPACIDADE PRODUTIVA E PROGRESSO GENÉTICO DE  
PINHÃO-MANSO (*Jatropha curcas* L.).

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Agronomia Tropical, área de concentração Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Medeiros Ferreira

Coorientador: Dr. Rodrigo Barros Rocha

MANAUS  
2012

Ficha Catalográfica  
(Catalogação realizada pela Biblioteca Central da UFAM)

Borges, Catielle Vieira

*B732c* Capacidade produtiva e progresso genético de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). / Catielle Vieira Borges. - Manaus: UFAM, 2012.  
69 f.; il. color.

Dissertação (Mestrado em Agronomia Tropical) — Universidade Federal do Amazonas, 2012.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Medeiros Ferreira

Coorientador: Prof. Dr. Rodrigo Barros Rocha

1. *Jatropha curcas* L. 2. Melhoramento genético 3. Parâmetros genéticos 4. Correlações genotípicas I. Ferreira, Fábio Medeiros (Orient.) II. Rocha, Rodrigo Barros (Coorient.) III. Universidade Federal do Amazonas IV. Título

CDU 582.681.46(043.3)

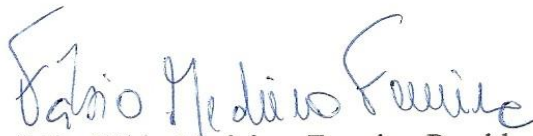
CATIELE VIEIRA BORGES

CAPACIDADE PRODUTIVA E PROGRESSO GENÉTICO DE  
PINHÃO MANSO (*Jatropha curcas* L.).

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia Tropical, área de concentração em Produção Vegetal.

Aprovada em 15 de fevereiro de 2012

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Fábio Medeiros Ferreira, Presidente  
Universidade Federal do Amazonas



Prof. Dr. Rodrigo Barros Rocha, Membro  
Embrapa Rondônia



Profª. Dra. Maria Teresa Gomes Lopes, Membro  
Universidade Federal do Amazonas

*Aos meus amados pais Joafran e Elizabete,  
aos meus queridos irmãos Catilene, Queilâne e Lucas,  
aos meus amorosos sobrinhos Henrique e João Victor,  
por sempre acreditarem em mim,  
pelo apoio e compreensão...*

***...Dedico***

## AGRADECIMENTOS

*À Deus, por esse momento de realização, por todas as bênçãos concedidas e por ter iluminado e guiado o meu caminho nessa longa jornada.*

*A toda a minha família, em especial a minha amada mãe, pelo apoio incondicional a minha formação acadêmica e profissional, por sempre acreditar na minha capacidade e, sobretudo, pelo seu grande amor.*

*Aos meus tios Rui Lima e Jousanete pelo apoio, incentivo e carinho.*

*Ao programa de Pós-graduação em Agronomia Tropical da UFAM, bem como a todos os docentes e funcionários que o compõe, pela oportunidade e realização do curso de mestrado.*

*À UFAM e à EMBRAPA-RO, por disponibilizarem as condições necessárias para a realização deste trabalho.*

*À CAPES, pela bolsa de mestrado concedida.*

*Ao CNPq e à FAPEAM pelo suporte financeiro para realização desta pesquisa.*

*Ao meu orientador Prof. Dr. Fábio Medeiros Ferreira, pela paciência, pelos ensinamentos e por todo o direcionamento e apoio necessários para a conclusão desta dissertação.*

*Ao meu coorientador Dr. Rodrigo Barros Rocha, pelo apoio em todas as etapas de realização deste trabalho e pela colaboração com valiosas sugestões.*

*Ao Adriano Ramos dos Santos, pela valiosa colaboração nas avaliações de campo.*

*Aos colegas de Manicoré da turma de graduação em Licenciatura em Ciências Agrárias e do curso de tecnologia em turismo ecológico, pela amizade e incentivo.*

*Aos amigos e colegas pós-graduandos do PGATR, em especial a Iza Maria, Jaisson, Jolemia, Tainah, Daiana, Leandro, Wanderléia, Tatiana, Deiziane, Adriana Gil, Adriana Uchôa, Rayane, Marcileide, Liliane, Marcos Vinícius, Gerlândio, Franci, Liane, Lucifrancy, Silfran e Gilson, pelos momentos de descontração, pela companhia e amizade durante esses meses que passamos juntos, compartilhando não só conhecimento, mas também trocando experiência de vida.*

*A todos os amigos que não são do convívio acadêmico e que sempre torceram por mim, em especial Carla Cristina e Maria Elenice.*

*Enfim, a todos que de alguma forma, direta ou indireta, colaboraram na realização deste trabalho e que, embora não citados aqui, não deixam de merecer o meu agradecimento.*

**AGRADEÇO**

*“Pouca ciência torna os homens orgulhosos; muita ciência torna-os humildes. Assim, as espigas vazias elevam a cabeça soberba, enquanto as cheias inclinam-se humildemente para a terra.”*

*Autor Desconhecido*



## RESUMO

O pinhão-manso (*Jatropha curcas* L., Euphorbiaceae), é uma planta de ciclo perene cujas atenções nos últimos seis anos tem se dirigido a sua capacidade para produção de óleo vegetal. Dado a seus atributos biológicos, agrônômicos, econômicos e industriais, a espécie é uma das oleaginosas em pauta de interesse do governo, que por meio do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel tem intensificado a busca por novas fontes bioenergéticas. Contudo, essa oleaginosa ainda encontra-se em fase de domesticação e busca por domínio tecnológico. Conhecer o potencial produtivo, a relação entre caracteres, a variabilidade genética e inferir sobre parâmetros genéticos têm direcionado, nos anos recentes, a maioria dos estudos genéticos quantitativos e de melhoramento no Brasil. Portanto, objetivou-se no presente estudo estimar parâmetros genéticos e prever variáveis aleatórias importantes às estratégias de seleção e melhoramento; conhecer o período mínimo de colheita/mensurações necessário para selecionar árvores de pinhão-manso; estimar correlações genotípicas e fenotípicas; avaliar o progresso genético da produção de grãos e estudar a variabilidade genética. Foi avaliado durante 24 meses na fazenda experimental da Embrapa, em Porto Velho – RO, um experimento com três blocos completos, quatro procedências (duas de Rondônia, uma de Minas Gerais e uma de São Paulo) com 16 árvores úteis por parcela, espaçadas 2x3 metros. Foram avaliados os caracteres associados à produção de grãos e de arquitetura da planta. O procedimento ótimo de avaliação genética REML/BLUP foi usado para a predição de variáveis aleatórias, estimação de parâmetros genéticos e inferência sobre a repetibilidade. As inferências sobre os componentes de variância e as estimativas de parâmetros genéticos para alguns caracteres agrônômicos, durante os dois primeiros anos de desenvolvimento do pinhão-manso, mostraram existir variabilidade genética. Os números de frutos por cacho e índice de maturação mostraram serem caracteres pouco informativos e úteis nos estudos genéticos quantitativos. A estabilização genotípica para os caracteres número de cachos, na colheita do meio ano, número de ramos, altura, projeção da copa no maior espaçamento e volume de copa, foi obtida com número igual ou inferior a três medições anuais. Já para a produção de grãos e número de cachos, na colheita do final do ano, exigiu-se maior número de mensurações ( $m_i > 4$ ). Elevadas correlações ( $r$ ) genotípicas e fenotípicas foram obtidas entre si para os caracteres de produção de grãos, seus componentes e aqueles caracteres associados à arquitetura da planta ( $r \geq 0,75$ ). Ganhos genéticos preditos para a produção de grãos dos dois primeiros anos de plantio foram respectivamente superiores a 20%, considerando a seleção dos dez melhores indivíduos. Ao se considerar os dois anos agrícolas para a variável produção de grãos, a maioria das plantas exibiram médio desempenho (adaptabilidade) geral, conforme indicou o método do centroide. Ao se considerar as informações dos efeitos aditivos individuais, a diversidade genética não esteve necessariamente associada à origem geográfica, pois plantas de diferentes procedências formaram grupos. Em nível de indivíduos, formaram-se vários grupos divergentes geneticamente.

**Palavras-chave:** *Jatropha curcas* L., melhoramento genético, parâmetros genéticos, repetibilidade, correlações genotípicas.

## ABSTRACT

The jatropha (*Jatropha curcas* L., Euphorbiaceae), is a perennial cycle plant whose attentions in the last six years has directed its capacity for vegetable oil. Given their biological attributes, agronomic, economic and industrial, the species is one of oleaginous on the agenda of government interest, which through the National Program for Production and Use of Biodiesel has intensified the search for new bioenergy sources. However, this is still oleaginous phase of domestication and quest for technological mastery. Meet the productive potential, the relationship between characters, the genetic variability and infer genetic parameters have directed in recent years, most quantitative genetic studies and breeding in Brazil. Therefore, the aim of the present study was to estimate genetic parameters and predict random variables important to the strategies of selection and breeding; meet the minimum harvest / measurements needed to choose jatropha trees; estimate genotypic and phenotypic correlations; evaluate the progress of genetic grain production and to study the genetic variability. Was evaluated for 24 months at the experimental farm of Embrapa, in Porto Velho - RO, an experiment with three full blocks, four provenances (two of Rondônia, one of Minas Gerais and São Paulo) with 16 trees per plot, spaced 2x3 meters. The traits associated with grain yield and plant architecture. The great genetic evaluation procedure REML/BLUP was used for the prediction of random variables, genetic parameter estimation and inference about repeatability. Inferences about variance components and estimates of genetic parameters for some agronomic traits during the first two years of development of *Jatropha curcas*, showed genetic variability exists. The numbers of fruits per bunch and maturation index showed little characters are informative and useful in quantitative genetic studies. The stabilization genotypic characters for number of clusters at harvest of half a year, number of branches, height, crown projection in greater spacing and canopy volume was obtained with equal or less than three measurements per year. Already for grain yield and number of clusters at harvest year end, required a greater number of measurements ( $m_i > 4$ ). High correlations ( $r$ ) were obtained genotypic and phenotypic characters among themselves for grain yield, its components and those characters associated with plant architecture ( $r \geq 0.75$ ). Predicted genetic gains for grain production of the first two years of planting were respectively higher than 20%, considering the selection of the ten best individuals. When considering the two growing seasons for variable grain production, most plants exhibited average performance (adaptability) generally indicated as the centroid method. Considering the information of the individual additive effects, genetic diversity was not necessarily linked to geographical origin, as plants of different provenances formed groups. At the level of individuals, formed several genetically divergent groups.

**Keywords:** *Jatropha curcas* L., breeding, genetic parameters, repeatability, genotypic correlations.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1.** Comparação entre os valores genotípicos da produção de grãos anual de quatro procedências de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) oriundas de Rondônia (PROC-1 e PROC-2), Minas Gerais (PROC-3) e São Paulo (PROC-4), com base no ano agrícola de 2009, em Porto Velho – RO. LSIC e LIIC representam os limites de confiança superior e inferior, respectivamente..... 52
- Figura 2.** Comparação entre os valores genotípicos da produção de grãos anual de quatro procedências de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) oriundas de Rondônia (PROC-1 e PROC-2), Minas Gerais (PROC-3) e São Paulo (PROC-4), com base no ano agrícola de 2010, em Porto Velho – RO. LSIC e LIIC representam os limites de confiança superior e inferior, respectivamente..... 52
- Figura 3.** Comparação entre os valores genotípicos da produção de grãos anual de quatro procedências de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) oriundas de Rondônia (PROC-1 e PROC-2), Minas Gerais (PROC-3) e São Paulo (PROC-4), com base na análise conjunta dos anos agrícolas de 2009 e 2010, em Porto Velho – RO. LSIC e LIIC representam os limites de confiança superior e inferior, respectivamente..... 53
- Figura 4.** Dispersão gráfica dos dois primeiros componentes principais das 192 plantas de pinhão-manso, para o caractere produção de grãos anual (PGA), com base na análise conjunta dos anos agrícolas 2009 e 2010. Os pontos numerados em algarismo romanos representam: I (máximo desempenho geral); II (máximo desempenho específico ao ano agrícola favorável); III (máximo desempenho específico ao ano agrícola desfavorável); IV (mínimo desempenho); V (média do desempenho geral); VI (média do desempenho específico ao ano agrícola favorável); VII (média do desempenho específico ao ano agrícola desfavorável). CP1, componente principal 1; CP2, componente principal 2..... 56
- Figura 5.** Projeção bidimensional de 192 árvores de pinhão-manso (*jatropha curcas* L.) cujas sementes foram procedentes dos estados de Rondônia, Minas Gerias e São Paulo, plantadas em Porto Velho – RO. Uso da distância euclidiana média cujas informações dos indivíduos foram os seus efeitos aditivos. Grupo 1: procedência - 1; Grupo 2: procedência - 2; Grupo 3: procedência - 3; e Grupo 4: procedência - 4..... 60

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Características das principais espécies oleaginosas utilizadas na produção de biodiesel..... 18
- Tabela 2.** Estimativas de parâmetros genéticos obtidos a partir de quatro procedências de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), no ano agrícola de 2009, para os caracteres produção de grãos da primeira colheita do ano (PGc1); produção de grãos da segunda colheita do ano (PGc2); produção de grãos anual (PGA); número de cachos da primeira colheita do ano (NCc1); número de cachos da segunda colheita do ano (NCc2); número de frutos por cacho da primeira colheita do ano (F/Cc1); número de frutos por cacho da segunda colheita do ano (F/Cc2); índice de maturação na colheita da primeira colheita do ano (IMc1); índice de maturação na colheita da segunda colheita do ano (IMc2); número de ramos (NR); altura da planta (Alt); projeção da copa no sentido do maior espaçamento (P1); projeção da copa no sentido do menor espaçamento (P2) e volume da copa (Vc). Porto Velho – RO..... 40
- Tabela 3.** Estimativas de parâmetros genéticos obtidos a partir de quatro procedências de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), no ano agrícola de 2010, para os caracteres produção de grãos da primeira colheita do ano (PGc1); produção de grãos da segunda colheita do ano (PGc2); produção de grãos anual (PGA); número de cachos da primeira colheita do ano (NCc1); número de cachos da segunda colheita do ano (NCc2); número de frutos por cacho da primeira colheita do ano (F/Cc1); número de frutos por cacho da segunda colheita do ano (F/Cc2); índice de maturação na colheita da primeira colheita do ano (IMc1); índice de maturação na colheita da segunda colheita do ano (IMc2); número de ramos (NR); altura da planta (Alt); projeção da copa no sentido do maior espaçamento (P1); projeção da copa no sentido do menor espaçamento (P2) e volume da copa (Vc). Porto Velho – RO..... 41
- Tabela 4.** Estimativas de parâmetros genéticos obtidos a partir de quatro procedências de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), considerando conjuntamente os anos agrícolas 2009 e 2010, para os caracteres produção de grãos da primeira colheita do ano (PGc1); produção de grãos da segunda colheita do ano (PGc2); produção de grãos anual (PGA); número de cachos da primeira colheita do ano (NCc1); número de cachos da segunda colheita do ano (NCc2); número de frutos por cacho da primeira colheita do ano (F/Cc1); número de frutos por cacho da segunda colheita do ano (F/Cc2); índice de maturação na colheita da primeira colheita do ano (IMc1); índice de maturação na colheita da segunda colheita do ano (IMc2); número de ramos (NR); altura da planta (Alt); projeção da copa no sentido do maior espaçamento (P1); projeção da copa no sentido do menor espaçamento (P2) e volume da copa (Vc). Porto Velho – RO..... 42
- Tabela 5.** Parâmetros genéticos e eficiência referente ao uso de até 10 colheitas em pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), para os caracteres produção de grãos da primeira colheita do ano (PGc1); produção de grãos da segunda colheita do ano (PGc2); produção de grãos anual (PGA); número de cachos da primeira colheita do ano (NCc1); número de cachos da segunda colheita do ano (NCc2); número de frutos por cacho da primeira colheita do ano (F/Cc1); número de frutos por cacho da segunda colheita do ano (F/Cc2); índice de maturação na colheita da primeira colheita do ano (IMc1); índice de maturação na colheita da segunda colheita do ano (IMc2); número de ramos (NR); altura

da planta (Alt); projeção da copa no sentido do maior espaçamento (P1); projeção da copa no sentido do menor espaçamento (P2) e volume da copa (Vc). Porto Velho – RO.....	46
<b>Tabela 6.</b> Estimativas de correlações genótípicas (acima da diagonal) e fenotípicas (abaixo da diagonal) entre os caracteres produção de grãos da primeira colheita do ano (PGc1); produção de grãos da segunda colheita do ano (PGc2); produção de grãos anual (PGA); número de cachos da primeira colheita do ano (NCc1); número de cachos da segunda colheita do ano (NCc2); número de frutos por cacho da primeira colheita do ano (F/Cc1); número de frutos por cacho da segunda colheita do ano (F/Cc2); índice de maturação na colheita da primeira colheita do ano (IMc1); índice de maturação na colheita da segunda colheita do ano (IMc2); número de ramos (NR); altura da planta (Alt); projeção da copa no sentido do maior espaçamento (P1); projeção da copa no sentido do menor espaçamento (P2) e volume da copa (Vc), mensurados em procedências de <i>Jatropha curcas</i> L. no ano agrícola de 2010. Porto Velho – RO.....	49
<b>Tabela 7.</b> Análise descritiva de alguns componentes de produção em pinhão-manso ( <i>Jatropha curcas</i> L.) com base em informações fenotípicas no ano agrícola de 2009. Porto Velho – RO.....	50
<b>Tabela 8.</b> Análise descritiva de alguns componentes de produção em pinhão-manso ( <i>Jatropha curcas</i> L.) com base em informações fenotípicas no ano agrícola de 2010. Porto Velho – RO.....	50
<b>Tabela 9.</b> Ganhos genéticos preditos considerando a produção de grãos anual ( $\text{g.árvore}^{-1}$ ), para o ano agrícola de 2010, considerando uma pressão de seleção de até 10 indivíduos. Porto Velho – RO.....	54
<b>Tabela 10.</b> Análise da variância para o caractere produção de grãos anual (PGA) das 192 plantas de pinhão-manso com base nos dados da análise conjunta dos anos agrícolas 2009 e 2010.....	55
<b>Tabela 11.</b> Classificação dos genótipos em um dos sete grupos caracterizados pelos métodos centroides e a probabilidade associada a sua classificação.....	57
<b>Tabela 12.</b> Agrupamento pelo método de Tocher de 192 árvores de pinhão-manso ( <i>Jatropha curcas</i> L.) cujas sementes foram procedentes dos estados de Rondônia, Minas Gerais e São Paulo, plantadas em Porto Velho – RO. Uso da distância euclidiana média cujas informações dos indivíduos foram os seus efeitos aditivos.....	59

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	15
2. OBJETIVOS.....	17
2.1 Objetivo geral.....	17
2.2 Objetivos específicos .....	17
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	18
3.1 Aspectos gerais do pinhão-manso.....	18
3.2 Melhoramento genético.....	22
3.3 Parâmetros genéticos.....	25
3.4 Variabilidade genética.....	28
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	31
4.1 Experimento de campo.....	31
4.2 Caracteres analisados.....	32
4.3 Análises genético-estatísticas.....	33
4.3.1 Estimaco de parâmetros genéticos e predico de variáveis aleatórias...	33
4.3.2 Relaco entre caracteres.....	35
4.3.3 Potencial produtivo e progressos genéticos.....	36
4.3.4 Análise de diversidade genética.....	38
5. RESULTADOS E DISCUSSO.....	39
5.1 Inferências sobre parâmetros genéticos.....	39
5.2 Estudo de correlaco genotípica e fenotípica.....	47
5.3 Potencial produtivo e progressos genéticos.....	50

5.4 Diversidade genética.....	58
6. CONCLUSÕES.....	62
REFERÊNCIAS.....	64

## INTRODUÇÃO

No Brasil, a previsão de aumento da produção de biodiesel pelo Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) tem intensificado a busca por novas fontes bioenergéticas e, por conseguinte, as pesquisas com espécies oleaginosas potenciais.

A literatura (MOURAD, 2006; QUEIROZ, 2001) relata que no Brasil devam existir cerca de 200 plantas oleaginosas com capacidade de produzir óleo para fins combustíveis. Dentre elas destaca-se, algodão, amendoim, babaçu, buriti, canola, dendê, gergelim, girassol, jojoba, linhaça, macaúba, mamona, nabo forrageiro, palmiste, pequi, soja, tucumã, pinhão-manso, entre outras.

O pinhão-manso (*Jatropha curcas* L., Euphorbiaceae) é uma das espécies oleaginosas na pauta de interesse do PNPB. Por não competir na cadeia alimentar e dado alguns atributos bioecológicos, agronômicos, econômicos e industriais, a expansão de plantios tem motivado, principalmente, o setor privado. Recentemente a empresa de aviação TAM anunciou a realização de voos testes com bioquerosene feito a partir do óleo de pinhão-manso resultante da ação consolidada entre agricultores familiares e o agronegócio em diferentes regiões do Brasil (GLOBO RURAL, 2011).

Embora a *J. curcas* seja considerada uma planta fornecedora de matéria-prima potencial, ainda encontra-se em fase de domesticação e busca por domínio tecnológico. Estudos iniciais sobre variabilidade genética, somados às ações de melhoramento são fundamentais para a consolidação da cadeia produtiva. Considerando sua base genética estreita (ABREU et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2009 e ROSADO et al., 2009) é salutar que programas de melhoramento sejam desenvolvidos na busca por combinações genotípicas e, ou, genes favoráveis às características de mercado, como rendimento de grãos e óleo, resistências a estresse biótico e abiótico, não toxicidade das sementes, entre outras.



Na região Norte do país, o pinhão-manso é encontrado com facilidade em propriedades rurais e até mesmo em áreas urbanas. Plantios comerciais ou experimentais, públicos ou privados têm sido implantados em Estados como Acre, Amazonas, Pará, Rondônia e Roraima.

O Centro de Pesquisas Agroflorestais da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA-CPAFRO), em Porto Velho-RO, iniciou há quatro anos seu programa de melhoramento. Em um dos seus campos experimentais, com aproximadamente 1,5 ha, encontram-se arranjas procedências de pinhão-manso oriundas de três diferentes estados (Rondônia, Minas Gerais e São Paulo), cujas árvores plantadas estão para atingir quatro anos de idade. Devido à escassez de informações acerca do potencial produtivo e de parâmetros genéticos para a espécie *J. curcas*, entendeu-se como oportuno realizar o estudo genético desse plantio a partir do acúmulo de dados de dois anos agrícolas, com o propósito de inferir os parâmetros genéticos, avaliar o mérito agrícola, o progresso genético e entender as relações entre componentes de produção e caracteres agronômicos, de modo a subsidiar o programa de melhoramento da EMBRAPA-CPAFRO e demais pesquisas genéticas com o pinhão-manso.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Inferir sobre os parâmetros genéticos dos principais componentes de produção de procedências de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em Porto Velho – RO aos 12 e 24 meses.

### **2.2 Objetivos específicos**

- ✓ Avaliar a repetibilidade para os caracteres de produção e agronômicos;
- ✓ Estudar a correlação entre os caracteres avaliados;
- ✓ Caracterizar o potencial produtivo e o progresso genético;
- ✓ Avaliar a diversidade genética entre as árvores e procedências de pinhão-manso.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Aspectos gerais do pinhão-manso

O pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) conhecido também como pinhão-de-purga, pinhão-do-paraguai, pinhão-de-cerca, pinhão-branco, figo-do-inferno, pinhão-bravo, dentre outros, pertence à família Euphorbiaceae, a mesma da mamona, mandioca e seringueira. (DIAS et al., 2007; TOMINAGUA et al., 2007).

As plantas do gênero *Jatropha*, possuem aproximadamente 175 espécies, trata-se de planta perene, arbustiva, de crescimento rápido, caducifólio, que pode atingir mais de 5 m de altura (ARRUDA et al., 2004).

Entre as principais espécies oleaginosas (tabela 1) que figuram o cenário atual, a mais promissora na atualidade pela possibilidade da produção de biodiesel é o pinhão-manso (HELLER, 1996; RIBEIRO et al., 2011). O percentual do teor de óleo sumarizadas na tabela abaixo é baseado na extração mecânica.

**Tabela 1.** Características das principais espécies oleaginosas utilizadas na produção de biodiesel.

<b>Espécie oleaginosa</b>	<b>Teor de óleo (%)</b>	<b>Produtividade Estimada (kg/ha/ano)</b>	<b>Produção de óleo (kg/ha/ano)</b>
Pinhão-manso	30 a 40	5.000	2.000
Soja	20	2.200	396
Girassol	42 a 45	1.600	672
Mamona	45 a 60	1.500	750
Algodão	13 a 32	1.800	270
Dendê	20	15.000	3.000

Fonte: Tominaga et al.(2007); Ribeiro et al. (2011) adaptado de Carvalho et al. (2007).

O nome *Jatropha* deriva do grego que significa medicamento (TOMINAGUA et al., 2007). A literatura relata o uso do pinhão-manso, desde os tempos antigos, para fins

medicinais. Em geral, a matéria prima era utilizada na produção de sabão caseiro e óleo para iluminações públicas e residenciais (OPENSHAW, 2000; HELLER 1996; SINGH et al., 2007).

Sua origem é controversa, pois encontra-se em todas as regiões intertropicais, estendendo sua ocorrência à América Central, América do Sul, África, Índia, Filipinas, Indonésia e Timor, até mesmo as zonas temperadas. Especula-se que seja originário da região tropical das Américas (DIAS et al., 2007), entretanto vem sendo amplamente considerada a América Central como centro de origem mais provável (DEVAPPA e SWAMYLINGAPPA, 2008; FREITAS et al., 2011).

O pinhão-manso é uma planta de fácil propagação, podendo ser por via sexuada ou assexuada. Segundo Ribeiro et al. (2011) inicia sua produção no primeiro ano de plantio e estabiliza seu potencial produtivo a partir do quarto ano. É considerada ainda uma planta resistente à seca e as adversidades climáticas.

O pinhão-manso pode ser encontrado sob diversas condições climáticas. Adapta-se a uma ampla faixa de climas e solos, vegetando desde o nível do mar até em altitudes superiores a 1000 metros. Entretanto, observa-se que a planta se desenvolve melhor em altitudes de 200 a 800 metros, em praticamente todos os tipos de solo. Tolerância precipitações pluviométricas acima de 800 mm anuais, bem distribuídas e temperaturas médias anuais de 18° C a 28° C, paralisando seu crescimento com precipitações abaixo de 600 mm. No Brasil, sob condições de sequeiro, as plantas de pinhão-manso apresentam dormência durante os meses de inverno, quando perdem naturalmente as folhas, voltando a brotar com as primeiras chuvas (DIAS et al., 2007; CARVALHO et al., 2009).

Dias et al.(2007) afirmaram que a planta deve ser cultivada, preferencialmente, em solos profundos, bem estruturados e não compactados, para que o sistema radicular possa se desenvolver e explorar maior volume de solo. Devem ser evitados os solos muito argilosos,

com umidade constante, pouco arejado e de difícil drenagem. A planta não tolera áreas encharcadas ou alagadiças. O desenvolvimento é menos acentuado nos terrenos de encosta, áridos e expostos aos ventos; nessa situação sua altura não ultrapassa 2 m. O nível de produtividade do pinhão-manso é bastante afetado pela distribuição irregular de chuvas ou mesmo pela ação prolongada de ventos na época da floração.

A espécie *J. curcas* tem seus aspectos botânicos bem descritos pela literatura. O sistema radicular do pinhão-manso é do tipo pivotante, com uma raiz principal que atinge grandes profundidades (JUHÁSZ et al. 2009; LAVIOLA, 2009; SMIRDELE e KROETZ, 2008; DIAS et al., 2007; TOMINAGA et al., 2007). Apresenta grande quantidade de raízes laterais, responsáveis pela nutrição da planta. De uma forma geral, pode-se dizer que a profundidade do sistema radicular é equivalente à altura da planta, assim como o diâmetro de exploração do solo.

O caule é liso, de lenho mole e medula desenvolvida, mas pouco resistente; floema com longos canais que se estende até as raízes, nos quais circula o látex, suco leitoso que corre com abundância de qualquer ferimento. O tronco ou fuste é dividido desde a base, em compridos ramos. A ramificação pode ocorrer desde a base e se bifurca, normalmente, a cada inflorescência. Os ramos têm cicatrizes que se formam por causa da queda das folhas na estação seca (fenômeno da caducifólia), as quais ressurgem logo após as primeiras chuvas (DIAS et al., 2007).

As folhas do pinhão são verdes, esparsas e brilhantes, largas e alternas, em forma de palma com três a cinco lóbulos e pecioladas, com nervuras esbranquiçadas e salientes na face inferior. As folhas novas têm a cor vermelho-vinho, mas se tornam verdes ao crescer. Elas são decíduas, ou seja, caem na época de seca ou na estação fria e a planta entra em repouso.

A inflorescência é uma cimeira definida, que surge junto com as folhas novas. Sua floração é monoica, mas com sexo separado, flores masculinas e femininas. As flores são

brancas e formam um buquê, com 10 a 20 flores femininas e mais de 50 masculinas. As flores femininas têm pedúnculo longo, isolados e se localizam nas ramificações. As flores masculinas têm dez estames, cinco unidos na coluna; localizando-se nas pontas das ramificações (DIAS et al., 2007).

O florescimento é um dos principais estágios fenológicos para a produção de óleo a partir de *J. curcas*, uma vez que o número de flores femininas e sua fecundação determinam quantos frutos e sementes serão desenvolvidos. Cada inflorescência necessita de 11 dias para completar sua total antese, desde a abertura da primeira flor até a última. A polinização é feita por insetos (abelhas, formigas, trips e moscas).

O fruto do pinhão-mansão é uma cápsula ovóide, deiscente, com 1,5 a 3,0 cm de diâmetro, trilocular, contendo via de regra três sementes, sendo uma semente por lóculo, formada por um pericarpo ou casca dura e lenhosa, indeiscente, inicialmente verde, passando a amarelo, castanho e por fim preto, quando atinge o estágio de maturação. Contém de 53 a 62% de sementes e de 38 a 47% de casca. O peso do fruto varia de 1,5 a 3,0 gramas (ACHTEN, et al., 2008; SPINELLI et al., 2010).

As sementes são relativamente grandes e tem de 1,5 a 2,0 cm de comprimento e de 1,0 a 1,3 cm de largura, com peso variando de 0,5 a 0,8 gramas. Apresenta tegumento rijo, quebradiço, de fratura resinosa. Debaxo do involúcro da semente existe uma película branca cobrindo a amêndoa. Albúmen abundante, branco, oleaginoso, contendo o embrião provido de dois largos cotilédones achatados. Representam entre 53 a 79% do peso do fruto e possuem teor de óleo variando entre 50 e 52% extraído com solvente, e 27 a 38% em casos de extração por prensagem, pesando cada uma de 1,53 a 2,85 gramas (ARRUDA et al., 2004; AKINTAYO, 2004).

O interesse sobre os aspectos agrônômicos da *J. curcas* é cada vez maior. Por se tratar de uma espécie semi domesticada, ainda é de restrito conhecimento sua real capacidade

produtiva e de crescimento, bem como, as melhores práticas de manejo, como sistema de podas, adubação e controle de pragas e doenças.

Além das características já mencionadas, acrescenta-se ao pinhão-mansão a vantagem de ser perene, não sendo necessária renovação anual; se adapta bem a diversas condições edafoclimáticas; é rústica (TOMINAGA et al., 2007), compatível ao perfil da agricultura familiar e por não ser uma espécie alimentar não compete com a agricultura de alimentos (LAVIOLA et al., 2010). Quanto aos grãos e óleo, podem ser armazenados por longos períodos de tempo, sem os inconvenientes da deterioração e aumento da acidez livre do óleo, como acontece com os frutos de dendê (SLUSZ e MACHADO, 2006).

Porém, o pinhão mansão possui limitações ao plantio em larga escala, em razão da floração descontínua e maturação desuniforme dos frutos, propiciando colheita manual, onerando assim os custos de produção (BOLIGON et al., 2011). Também baixa produção de grãos associados à base genética estreita; é susceptível a pragas e doenças e; o fator toxidez nas sementes impede o uso da torta na nutrição animal.

### **3.2 Melhoramento genético**

O aspecto perene de uma espécie conduz a um impacto direto no esquema de melhoramento, os quais devem ser capazes de produzir resultados práticos dentro de um período de tempo relativamente curto. Dessa forma, cultivares melhoradas devem ser criadas durante os diferentes estágios do melhoramento populacional propriamente dito (RESENDE, 2001).

De acordo com Resende (2002), as espécies vegetais perenes, tais quais as essências florestais e as frutíferas arbóreas, apresentam vários aspectos biológicos peculiares que tornam o melhoramento genético das mesmas, bastante diferenciado do melhoramento de

culturas anuais. Dentre eles, citam-se: sobreposição de gerações, ciclo reprodutivo longo, reprodução sexuada e assexuada e expressão dos caracteres ao longo das várias idades.

Resende (2001) afirma ainda que em consequência desses fatores se têm grandes reflexos no melhoramento dessas espécies, um deles diz respeito a possível alteração no controle genético dos caracteres ao longo das idades.

Os testes de progênies segundo Costa et al. (2000) têm sido usados para estimar parâmetros genéticos e selecionar indivíduos entre e dentro de progênies, quando se procura avaliar a magnitude e a natureza da variância genética disponível com vistas a quantificar ganhos com a seleção e prever o melhor método de seleção a ser utilizado.

A maioria dos programas de melhoramento com plantas perenes no Brasil têm utilizado a metodologia de avaliação genética REML/BLUP, para a seleção em diversas culturas como o eucalipto (MARTINS et al., 2006; REZENDE, 2001) com o objetivo básico de garantir o aumento da produtividade e da qualidade da madeira a cada ciclo de seleção, sem com isso comprometer a base genética da população; a seringueira (GONÇALVES e FONTES, 2009; COSTA et al., 2000; RESENDE, 2001); a acerola (PAIVA et al., 2007) entre outros.

Segundo Resende (2002) o sucesso de um programa de melhoramento genético de espécies perenes depende, fundamentalmente, de conhecimentos sólidos em pelo menos quatro áreas: i) conhecimento do produto final de interesse; ii) conhecimento do germoplasma disponível para obtenção do produto; iii) conhecimento acerca de metodologias de seleção e de melhoramento; iv) conhecimento profundo dos fatores ambientais que afetam a expressão fenotípica.

O melhoramento genético de acordo com Marques e Ferrari (2008) depende da variabilidade genética e a avaliação de acessos divergentes com características desejáveis tais como: alta produtividade de sementes, alta taxa de flor feminina em relação à flor masculina,



porte reduzido, resistência à pragas e doenças, uniformidade e precocidade de maturação, resistência/tolerância à seca, e, principalmente, alto teor e melhoramento das propriedades químicas e físicas do óleo. Por isso é muito importante o levantamento de informações quanto à diversidade do germoplasma disponível para o estabelecimento de coleções com variação genética representativa do gênero *Jatropha*.

Neste contexto, o pinhão-mansão, por se tratar de uma espécie em fase de domesticação, portanto, sem variedades comerciais, o estabelecimento de critérios mais apropriados para a seleção de materiais tem sido especialmente importante para seu cultivo. A maioria dos estudos relacionados à cultura encontra-se em fase inicial.

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) por meio da Instrução Normativa número 4, de quatorze de janeiro de 2008, autorizou a inscrição da *J. curcas* L. no Registro Nacional de Cultivares (RNC) e estabelecendo a comercialização de sementes e mudas. No entanto, duas limitações foram diagnosticadas para a implementação do cultivo comercial do pinhão-mansão: a domesticação da espécie, que ainda não foi observada em monocultura intensiva, e a criação de um programa de melhoramento genético que resulte em uma cultivar com características agrônômicas superiores (BRASIL, 2008).

As características superiores desejáveis para o programa de melhoramento genético com pinhão-mansão são: cultivares comerciais com alta produtividade de grãos/óleo; ausência de toxidez; resistentes a estresses bióticos e abióticos e adaptados às principais regiões produtoras do Brasil (LAVIOLA, 2009).

Ações para dar suporte técnico-científico à caracterização botânica e molecular de pinhão-mansão, visando subsidiar o registro de cultivares e encurtar caminhos para a obtenção de uma genética melhorada vem sendo desenvolvida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Serão necessários mais alguns anos para que se obtenha as cultivares melhoradas e informações cientificamente embasadas sobre o sistema de produção

da cultura, que suportem seu cultivo comercialmente competitivo em distintas regiões do Brasil.

### **3.3 Parâmetros genéticos**

As estimativas e a compreensão dos parâmetros genéticos são importantes para a elucidação da estrutura genética da população, inferência da variabilidade genética e predição dos ganhos de seleção (CRUZ e CARNEIRO, 2003). Essas estimativas auxiliam o melhorista na tomada de decisão a respeito do método mais adequado a ser empregado na cultura e como melhorar a sua eficiência (CRUZ e REGAZZI, 2001).

O delineamento de estratégias eficientes no melhoramento depende, fundamentalmente, do conhecimento do controle genético dos caracteres a serem melhorados. Segundo Cruz e Carneiro (2003), entre os parâmetros de maior importância destacam-se: os componentes de variância, em especial genética aditiva e não aditivas; as herdabilidades e as correlações.

A herdabilidade é um dos parâmetros de maior relevância nos estudos genéticos quantitativos, senão o mais importante, pois se refere à proporção da variação fenotípica que pode ser herdada. Pode ser interpretada como uma medida de confiabilidade do valor fenotípico; como mensurando a fração herdável passada de uma geração para outra. Por isso é importante o conhecimento de quanto a variação fenotípica é atribuída pela variação genética. De acordo com Falconer (1987) quando determinados indivíduos são escolhidos para genitores, tendo como base seus valores fenotípicos, o sucesso na alteração das características da população poderá ser predito através do conhecimento do grau de relação entre o valor fenotípico e o genético.

Duas distintas denominações de herdabilidade foram cunhadas: a no sentido restrito ( $h_a^2$ ) e no sentido amplo ( $h_g^2$ ). A primeira equivale ao quadrado da correlação entre o valor genético aditivo e o valor fenotípico, ou o coeficiente de determinação do valor genético aditivo pelo fenótipo. A segunda é o quadrado da correlação entre o valor genotípico e o valor fenotípico ou coeficiente de determinação do valor genotípico pelo fenótipo (RESENDE, 2002).

Outro parâmetro que cabe destacar ao melhoramento de plantas perenes é o coeficiente de repetibilidade, pois mede a capacidade dos organismos em repetir a expressão do caráter, ao longo do tempo (RESENDE, 2002). De maneira semelhante, também se espera que o bom desempenho manifestado em certas estruturas ou partes integrantes do indivíduo reflita o potencial do genótipo a ser utilizado como um todo.

Alguns autores (CRUZ e REGAZZI, 2001) denominaram a repetibilidade como a correlação entre as medidas em um mesmo indivíduo, cujas avaliações foram repetidas no tempo ou espaço. Para Lopes et al. (2001) o conhecimento do coeficiente de repetibilidade permite que a fase de avaliação seja executada com eficiência e com mínimo dispêndio de mão de obra.

Coefficientes de repetibilidade têm sido estimados em espécies oleaginosas, como o dendê (*Eleais guineensis*). Cedilho et al. (2008) no estudo de caracteres da produção, estimaram o coeficiente de repetibilidade da produção de cachos de famílias de meios irmãos de progênies do tipo dura, verificando alta regularidade para a produção de cachos, com necessidade de quatro anos avaliação. Chia et al. (2009) estimaram com progênies híbridas de caiaué com dendezeiro, a necessidade de quatro anos para a avaliação da produção para seleção acurada das progênies superiores e seis anos para seleção individual de plantas híbridas de caiaué com dendenzeiro.

O sucesso do melhoramento genético de qualquer caractere requer, obrigatoriamente, que este seja herdável e que haja variação na população em que se pratica a seleção. Assim, a fração herdável da variância genotípica é aquela referente aos alelos e denomina-se variância aditiva. Já aquela resultante da combinação dos alelos em cada genótipo, ou seja, referente à interação intra-alélica, não é herdada, sendo denominada variância atribuída aos desvios da dominância. Além destas, quando se consideram dois ou mais locos, surge outra fração relativa à interação entre alelos de genes diferentes, denominada variância atribuída às interações epistáticas ou epistasia (CRUZ, 2005).

O melhorista busca em suas estratégias de melhoramento e seleção aproveitar o máximo a parte herdável do caractere com vista ao progresso genético. Segundo Resende (2002), este progresso é reflexo do ganho genético que representa a superioridade (diferença) da população melhorada em relação à população não melhorada, ou seja,  $\mu_1 - \mu_0$ . A média genotípica da população melhorada ( $\mu_1$ ) corresponde à média dos valores genéticos dos indivíduos selecionados ao passo que a média da população não melhorada ( $\mu_0$ ) corresponde à média dos valores genéticos de todos os indivíduos da população.

Quando se pensa em ganho genético esperado com a seleção, evoca-se um parâmetro genético importante, principalmente na comparação entre métodos seletivos, que é a acurácia. Trata-se da correlação entre os valores genéticos preditos e os valores genéticos verdadeiros dos indivíduos. Quanto maior a acurácia na avaliação de um indivíduo, maior é a confiança na avaliação e no valor genético predito deste indivíduo. Como é uma medida que está associada à precisão na seleção, a acurácia é o principal elemento do progresso genético, em que o melhorista pode alterar visando maximizar o ganho genético. Em conclusão, a acurácia pode ser utilizada como um indicativo da intensidade de utilização de indivíduos, sendo que os indivíduos com altos valores genéticos preditos e com acurácia mais baixa, devem ser utilizados com ressalvas (RESENDE, 2002).

De maneira genérica, o REML/BLUP (máxima verossimilhança restrita/melhor predição linear não viciada) é o procedimento ótimo de estimação de componentes de variância com dados desbalanceados, que na predição de valores genéticos de espécies perenes equivale à estimação pelo método dos mínimos quadrados nos casos de dados balanceados (RESENDE, 2007).

Estudos com estimativas de parâmetros genéticos, são escassos em pinhão-manso, citando-se alguns como os trabalhos de Laviola et al. (2010) e Abreu et al. (2009) no Brasil e, Ginwal et al. (2004) e Ginwal et al. (2005) na Índia.

### **3.4 Variabilidade Genética**

A diversidade genética das espécies é uma importante forma de manter a capacidade natural de responder às mudanças climáticas e a todos os tipos de estresses biótico e abióticos (CRUZ, 2005).

Vários estudos sobre diversidade foram realizados em pinhão-manso. Os trabalhos têm usado tanto informações fenotípicas quanto moleculares para elucidar o grau de variabilidade e entender o perfil de base genética dentro da espécie *J. curcas*.

Na Índia, Ginwal et al. (2004) e Ginwal et al. (2005) encontraram diferenças genéticas e alto valores de herdabilidade no sentido amplo para altura da planta e diâmetro do caule e considerável variabilidade genética em relação à morfologia da semente, germinação e característica de crescimento de mudas, respectivamente.

Com base nas características na fase juvenil, Abreu et al. (2009) estudaram a variabilidade genética entre dez acessos de pinhão-manso oriundos de diversos locais, por meio dos modelos mistos REML/BLUP. Os resultados mostraram considerável variabilidade

genética entre os acessos, para as características estudadas (altura de plantas, altura de inserção da primeira folha, diâmetro do caule e número de folhas).

Também com dados fenotípicos, Freitas et al. (2011) verificaram com base em 75 progênies do Brasil e três do Cambódia que a diversidade geográfica, não necessariamente, representam a diversidade genética entre acessos, evidenciando indicativos de que o centro de origem da *J. curcas* é a América Central, mas especificamente o México. Para os autores, acessos do México foram introduzidos em outros países latino-americanos (incluindo o Brasil) e mais tarde África e Ásia.

Spinelli et al. (2010) estimando por meio de análise de trilha, os efeitos diretos e indiretos de características vegetativas e de matéria-prima sobre o rendimento de óleo de pinhão-manso aos 38 meses, verificaram que a seleção de plantas de maior rendimento de óleo deve considerar genótipos de maior produtividade de grãos e maior volume de copa, mantendo-se a variabilidade para as outras características.

Recentemente, Rosado et al. (2010) utilizando marcadores moleculares RAPD e ISSR, observaram número limitado de grupos divergentes para os 192 acessos do banco de germoplasma da EMBRAPA. Para eles, a separação de grupos de *J. curcas* no Brasil não está relacionada com origem geográfica e que acessos de diferentes regiões podem ter a mesma origem genética. Basha et al. (2007) ao avaliar genótipos de diferentes regiões da Índia, com marcadores RAPD e ISSR, observaram que dos 43 genótipos estudados 83% foram agrupados em dois grandes grupos, indicando que também na Índia a diferença geográfica não é sinônimo de divergência genética.

Ao contrário dos autores supracitados, Santos et al. (2010) ao avaliarem as relações genéticas entre acessos de pinhão-manso, com base em marcadores AFLP verificaram que a divergência entre acessos está relacionada a região de origem e que a dissimilaridade entre

plantas de uma determinada origem é menor do que a variabilidade genética da espécie entre acessos.

A quantificação da diversidade genética dos acessos coletados em todo território nacional, indicam que as plantas de pinhão-manso presentes no Brasil estão se reproduzindo preferencialmente por autogamia, sendo facilitada pela ocorrência de plantas isoladas (Rosado et al., 2010). Para Basha et al. (2009) a baixa diversidade genética, revelada a partir de marcadores RAPD e ISSR, entre acessos de um mesmo país, é consequência do número reduzido de introduções iniciais de germoplasma de *J. curcas* nos países.

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Experimento de campo**

O experimento foi instalado no mês de março de 2008, no campo experimental do Centro de Pesquisas Agroflorestais da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA-CPAFRO), Porto Velho-RO. O ensaio está representado por quatro procedências de pinhão-manso pertencentes aos estados de Rondônia (PROC-1 e PROC-2), Minas Gerais (PROC-3) e São Paulo (PROC-4), cujas sementes crioulas (sem origem genética conhecida) e não melhoradas foram utilizadas no plantio.

Foi delineado o experimento com três blocos completos ao acaso, cujas quatro procedências foram representadas por 16 árvores úteis por parcela, com bordadura dentro das parcelas, totalizando 192 plantas úteis. Foram utilizados os resultados das mensurações realizadas nos anos agrícolas de 2009 e 2010.

O clima da região é tropical tipo Aw, quente e úmido, apresenta período seco bem definido com ocorrência de déficit hídrico nos meses de junho, julho, agosto e setembro, temperatura média anual de 25° C, precipitação média anual de 2.354 mm e evapotranspiração média anual de 851 mm, Normais climatológicas (BRASIL, 1992). O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, textura muito argilosa.

O espaçamento adotado na cultura foi de 2 x 3 m, sendo o plantio efetuado com mudas de um mês de crescimento em viveiro, formadas em sacos plásticos de volume de dois litros. Durante o plantio foi colocado 100g de superfosfato simples/cova. No segundo ano de plantio foi realizada a calagem superficial da área total com a aplicação de quatro toneladas de calcário por hectare (P.R.N.T. 60%); e adubação com a aplicação de 50g de uréia, 60g de



superfosfato triplo e 40g cloreto de potássio em cobertura, três meses antes das duas colheitas da região, que acontecem nos meses de junho e dezembro.

O plantio faz uso de sistema não irrigado. O controle de plantas daninhas é químico e com capinas, e durante os anos de 2008 a 2010 não foi usado controle químico para incidência de pragas e doenças da cultura. A manutenção do experimento foi uma contrapartida da Embrapa-RO para o desenvolvimento deste trabalho de dissertação.

## 4.2 Caracteres Analisados

Os seguintes caracteres vegetativos foram medidos em nível de indivíduo: a) altura de plantas, em cm, medidos a partir do solo até o ápice da copa; b) número de ramos, medidos a partir de um metro da altura da planta a contar do solo; c) projeção da copa no sentido do maior espaçamento, em cm; d) projeção da copa no sentido do menor espaçamento, em cm, e; e) volume da copa, em m<sup>3</sup>. A altura e a projeção da copa das plantas foram mensuradas utilizando régua de 2,5 m graduada em centímetros.

O volume de copa foi estimado pela aproximação do volume de um cilindro de base elíptica:  $V_{copa} = \left(\pi \cdot \frac{D_1}{2} \cdot \frac{D_2}{2}\right) h$ , em que:  $\pi = 3,14159$ ;  $D_1$ : projeção da copa no maior espaçamento;  $D_2$ : projeção da copa no menor espaçamento e  $h$ : altura.

Também foram avaliados em nível de indivíduos os seguintes caracteres de produção: produção de grãos, em g, f) na primeira colheita do ano (junho), g) na segunda colheita do ano (dezembro), h) na colheita anual (soma das colheitas de junho e dezembro); número de cachos, computados a partir do número total de cachos de uma árvore, i) na primeira colheita (junho), j) na segunda colheita (dezembro); frutos por cacho, computados como a média de frutos por cacho contados em dois cachos/árvore de ramos diferentes, k) na primeira colheita (junho), l) na segunda colheita (dezembro); índice de maturação, m) na primeira colheita

(junho), n) na segunda colheita (dezembro). Para o índice de maturação contou-se o número de frutos verdes, maduros e secos de todos os cachos/árvore. Para se quantificar o índice as inflorescências devem ser marcadas previamente. O índice de maturação foi expresso com o percentual de frutos, maduros e secos, calculados como média de dois cachos.

### 4.3 Análises genético-estatísticas

As análises genéticas e estatísticas se basearam nos dados obtidos nos anos de 2009 e 2010 separadamente e na análise conjunta 2009/2010 (avaliação com m medidas repetidas).

#### 4.3.1 Estimação de parâmetros genéticos e predição de variáveis aleatórias

As estimativas dos parâmetros genéticos e a predição das variáveis aleatórias foram obtidas por intermédio do procedimento ótimo de estimação/seleção REML/BLUP (do português, método de máxima verossimilhança restrita/melhor predição linear não viciada) individual, i) com uma avaliação por indivíduo (árvore) e ii) com medidas repetidas.

Considerando os dados dos anos 2009 e 2010, em separado (i), adotou-se o seguinte modelo estatístico:

$Y_{ijk} = \mu + p_i + b_j + e_{ij} + d_{ijk}$ , em que:  $Y_{ijk}$  é o valor fenotípico observado da árvore k, da procedência i, no bloco j;  $\mu$  é a média geral, fixa,  $E(\mu) = \mu$  e  $E(\mu^2) = \mu^2$ ;  $p_i$  é o efeito da procedência i, aleatório,  $E(p_i) = 0$  e  $E(p_i^2) = \sigma_p^2$ ;  $b_j$  é o efeito do bloco j, fixo,  $E(b_j) = b_j$  e  $E(b_j^2) = V_b$ ;  $e_{ij}$  é o efeito da parcela ij, aleatório,  $E(e_{ij}) = 0$  e  $E(e_{ij}^2) = \sigma_e^2$ ;  $d_{ijk}$  é o efeito da árvore k dentro da parcela ij, aleatório,  $E(d_{ijk}) = 0$  e  $E(d_{ijk}^2) = \sigma_d^2$ .

No contexto dos modelos lineares mistos, tem-se:

$y = X\beta + Za + Wp + e$ , em que:  $y$ ,  $\beta$ ,  $a$ ,  $p$  e  $e$  são vetores de dados, de efeitos fixos (média geral e efeitos de bloco), de efeitos genéticos aditivos (aleatório), de efeitos de parcelas (aleatório) e de erros aleatórios, respectivamente.  $X$ ,  $Z$  e  $W$ , representam as matrizes de incidência para os respectivos efeitos.

Considerado a avaliação genética com medidas repetidas (2009/2010) (ii), adotou-se o seguinte modelo estatístico:

$\bar{Y}_{ijk} = \mu + p_i + b_j + e_{ij} + d_{ijk} + t_{ijk}/m$ , em que:  $\bar{Y}_{ijk}$  é a média do valor fenotípico observado da árvore  $ijk$ , em  $m$  medições;  $\mu$  é a média geral, fixa,  $E(\mu) = \mu$  e  $E(\mu^2) = \mu^2$ ;  $p_i$  é o efeito da procedência  $i$ , aleatório,  $E(p_i) = 0$  e  $E(p_i^2) = \sigma_p^2$ ;  $b_j$  é o efeito do bloco  $j$ , fixo,  $E(b_j) = b_j$  e  $E(b_j^2) = V_b$ ;  $e_{ij}$  é o efeito da parcela  $ij$ , aleatório,  $E(e_{ij}) = 0$  e  $E(e_{ij}^2) = \sigma_e^2$ ;  $d_{ijk}$  é o efeito da árvore  $k$  dentro da parcela  $ij$ , aleatório,  $E(d_{ijk}) = 0$  e  $E(d_{ijk}^2) = \sigma_d^2$ ;  $t_{ijk}/m$  é o efeito residual (ambiental) temporário médio (de  $m$  medições) associado ao indivíduo  $ijk$ , aleatório,  $E(t_{ijk}/m) = 0$  e  $E(t_{ijk}^2/m) = \frac{\sigma_t^2}{m}$ .

No contexto dos modelos lineares mistos, tem-se:

$y = X\beta + Za + Wc + Tp + e$ , em que:  $y$ ,  $\beta$ ,  $a$ ,  $c$ ,  $p$  e  $e$  são vetores de dados em nível de cada medição, de efeitos fixos (médias de blocos), de efeitos genéticos aditivos (aleatório), de efeitos de parcelas (aleatório), de efeitos permanentes (aleatório) e de erros aleatórios, respectivamente.  $X$ ,  $Z$ ,  $W$  e  $T$ , representam as matrizes de incidência para os respectivos efeitos.

Foram estimados parâmetros genéticos e preditas as seguintes variáveis aleatórias para os caracteres avaliados:

a) componentes de variância – genética aditiva; ambiental entre parcelas; residual (ambiental + não aditiva); ambiental entre parcelas; residual temporária; dos efeitos permanentes e; fenotípica individual; b) herdabilidades – individual no sentido restrito (com desvio padrão), ou seja, dos efeitos aditivos e; da média de progênies, assumindo

sobrevivência completa; c) coeficientes de variação – genética aditiva individual; genotípica entre progênies; residual e; variação relativa (razão entre coeficientes de variação genotípica entre progênies e residual); d) outros coeficientes – de determinação dos efeitos de parcelas; dos efeitos permanentes e; acurácia da seleção de progênies, assumindo sobrevivência completa; repetibilidade individual (com desvio padrão) e; média genotípica (geral) do experimento, conforme descrito por Resende (2002).

No estudo da repetibilidade foram ainda estimadas: herdabilidade em nível de indivíduos associada à média de medições; coeficiente de determinação genotípica; acurácia dos valores genético-aditivos preditos e a eficiência da realização de até 10 medições em comparação com a situação em que apenas uma medição é realizada no caractere de interesse.

Ainda, foram consideradas no estudo as variáveis aleatórias, efeito aditivo ( $a$ ) e valor genético aditivo ( $\mu + a$ ), na avaliação do progresso genético (descrito em 4.3.3) e no estudo de diversidade genética (descrito em 4.3.4).

Para a realização das análises foi utilizado o *software* SELEGEN-REML/BLUP, considerando a avaliação de indivíduos em progênies de meios irmãos com várias observações por parcela, sob delineamento de blocos completos e em um único local, cujo modelo 1 para avaliação em uma medição e o modelo 8 para avaliação conjunta em mais de duas medições (RESENDE, 2007).

### **4.3.2 Relação entre caracteres**

O estudo da relação entre os caracteres avaliados ocorreu por intermédio das estimativas de correlações de Pearson tanto fenotípica quanto genotípica, com base nas informações (médias e variâncias) das procedências no ano de 2010.

As correlações genotípicas foram obtidas sob o modelo 102 do *software* SELEGEN-REML/BLUP, a partir dos valores genotípicos preditos no modelo 1.

As correlações genotípicas e fenotípicas foram testadas pelo teste t de Student, em nível de 1 e 5% de significância.

As correlações fenotípicas foram calculadas pelo *software* GENES (CRUZ, 2008), a partir do método da análise de variância para dois caracteres (CRUZ e REGAZZI, 2001).

### **4.3.3 Potencial produtivo e progressos genéticos**

Análises descritivas foram aplicadas aos caracteres produção de grãos anual, número de cachos da primeira colheita do ano, número de cachos da segunda colheita do ano e número de ramos. Utilizando os dados de 2009, 2010 e conjunto (2009/2010), com as seguintes medidas fenotípicas: a) média geral; b) desvio padrão; c) valores mínimo e máximo; d) coeficiente de variação.

A distinção das capacidades produtivas entre as quatro procedências foi realizada por meio da comparação das médias a partir da sobreposição dos intervalos de confiança dos valores genotípicos preditos, dados pela expressão  $(\mu + g)_i \pm t \text{ SEP}$ , em que  $(\mu + g)$  é o valor genotípico da procedência  $i$ ;  $t = 1,96$  é o valor tabelado da distribuição t de Student para 95% de confiança e; SEP é o desvio padrão do valor genotípico predito. Para a detecção da existência de diferenças entre as procedências, plotou-se em gráficos os respectivos intervalos de confiança.

O progresso genético dos caracteres avaliados neste item foi estimado com base nos ganhos genéticos preditos (%) fazendo-se:

$\hat{G}_s(\%) = 100.(\mu_1 - \mu_0)$  em que:  $\mu_1$  é a média dos valores genéticos das árvores selecionadas e  $\mu_0$  é a média genotípica da população não melhorada (média geral). Considerou-se uma pressão de seleção de até 10 árvores.

Para estudar o progresso genético também foi utilizado o método centroide (ROCHA et al., 2005; NASCIMETO et al., 2009). O método consiste na comparação de valores de distância cartesiana entre os genótipos e sete ideótipos, criados com base nos dados experimentais, cujos valores médios, em cada ano agrícola, são dados pelos centroides: I (máximo desempenho geral); II (máximo desempenho específico ao ano agrícola favorável); III (máximo desempenho específico ao ano agrícola desfavorável); IV (mínimo desempenho); V (médio desempenho geral); VI (médio desempenho específico ao ano agrícola favorável); VII (médio desempenho específico ao ano agrícola desfavorável).

Classificados os anos agrícolas como favorável e desfavorável, conforme Finlay e Wilkinson (1963), para índice ambiental; e criados os centroides, na matriz de médias de dimensão genótipo x ano (gxa), utiliza-se a análise de componentes principais considerando sete linhas adicionais correspondentes aos ideótipos estabelecidos. A partir desses genótipos (g+7) é feita a análise de componentes principais de maneira usual, obtendo-se escores utilizados na representação gráfica. A posição dos genótipos e valores de distância cartesiana em relação aos centroides (ideótipos) no gráfico possibilita a sua classificação quanto a adaptabilidade e à estabilidade. Uma medida de probabilidade espacial é calculada, da

seguinte forma:  $P_{d(i,k)} = \frac{\left(\frac{1}{d_{ik}}\right)}{\sum_i \frac{1}{d_{ik}}}$  em que:  $P_{d(i,k)}$  é a probabilidade de apresentar padrão de

estabilidade semelhante ao k-ésimo centroide e  $d_{ik}$  é a distância do i-ésimo genótipo ao k-ésimo centroide no plano gerado a partir da análise de componentes principais.

Segundo Nascimento et al. (2009) genótipos de máxima e média adaptação específica não são aqueles que apresentam bom desempenho nos grupos do ano agrícola favorável ou

desfavorável, mas sim os genótipos que apresentam valores máximos ou médios para determinado grupo de ano agrícola (favoráveis e desfavoráveis) e mínimo para o outro conjunto.

#### **4.3.4 Análise de diversidade genética**

A diversidade genética foi avaliada considerando os dados do ano agrícola de 2010 e as 192 árvores do experimento, cujos valores dos indivíduos foram representados pelos seus respectivos efeitos aditivos ( $a$ ) para os 14 caracteres estudados. Usou-se a distância euclidiana média, para compor a divergência entre pares de árvores e os métodos de agrupamento otimizado de Tocher e projeção bidimensional (2D), utilizando o *software* Genes (CRUZ, 2008).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Inferências sobre parâmetros genéticos

As estimativas de parâmetros genéticos para os caracteres de produção e arquitetura da planta estão sumarizadas nas tabelas 2, 3 e 4. Altos valores de variância genética aditiva ( $V_a$ ) foram encontrados nos caracteres produção de grãos (PGc1 e PGA), número de cachos (NCc1 e NCc2), número de ramos (NR) e altura da árvore (Alt), considerando o ano agrícola de 2009 (Tabela 2). No ano agrícola 2010 (Tabela 3) e na avaliação conjunta 2009/2010 (Tabela 4), os mesmos caracteres exibiram elevadas estimativas de variância aditiva, exceto PGc1 e NCc2, que não repetiram as boas estimativas encontradas no ano de 2009, com  $V_a$  baixas em comparação aos valores dos componentes de variância ambientais e/ou não aditivas. Cabe ressaltar que a projeção da copa no maior espaçamento (P1) e o volume da copa ( $V_c$ ) passaram a exibir maior variância aditiva no segundo ano de plantio (Tabela 3).

Elevadas magnitudes de herdabilidade no sentido restrito ( $h_a^2$ , individual dos efeitos aditivos) e no sentido amplo ( $h_{mp}^2$ , média de procedências) foram obtidas para o caractere altura, ao considerar o primeiro e, ou, segundo ano de colheita (Tabelas 2, 3 e 4), indicando que a seleção é importante entre e dentro de procedências quanto dentro de procedências para estádios iniciais de desenvolvimento das árvores de pinhão-manso.

No geral, os caracteres produção de grãos, número de cachos, número de ramos, altura, projeção da copa e volume da copa, apresentaram estimativas moderadas a altas de herdabilidade, tanto em sentido amplo quanto restrito. Ginwal et al. (2004) e Ginwal (2005) em experimentos conduzidos na China, encontraram valores de alta magnitude para a herdabilidade individual no sentido restrito de (89 a 97%), para os caracteres vegetativos em plantas aos seis e 24 meses de idade.



**Tabela 2.** Estimativas de parâmetros genéticos obtidos a partir de quatro procedências de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), no ano agrícola de 2009, para os caracteres produção de grãos da primeira colheita do ano (PGc1); produção de grãos da segunda colheita do ano (PGc2); produção de grãos anual (PGA); número de cachos da primeira colheita do ano (NCc1); número de cachos da segunda colheita do ano (NCc2); número de frutos por cacho da primeira colheita do ano (F/Cc1); número de frutos por cacho da segunda colheita do ano (F/Cc2); índice de maturação na colheita da primeira colheita do ano (IMc1); índice de maturação na colheita da segunda colheita do ano (IMc2); número de ramos (NR); altura da planta (Alt); projeção da copa no sentido do maior espaçamento (P1); projeção da copa no sentido do menor espaçamento (P2) e volume da copa (Vc). Porto Velho – RO.

Parâmetro	PGc1	PGc2	PGA	NCc1	NCc2	F/Cc1	F/Cc2	IMc1	IMc2	NR	Alt	P1	P2	Vc
$V_a$	533,69	5090,10	9292,08	3,43	43,46	0,14	0,07	0,00	0,00	20,66	0,12	0,02	0,00	0,15
$V_{parc}$	7,15	28,39	40,65	0,26	2,58	0,00	0,05	0,00	0,00	0,38	0,00	0,00	0,01	0,03
$V_e$	0,00	9958,80	7842,29	0,36	37,36	1,31	0,56	0,05	0,04	0,00	0,00	0,04	0,05	0,24
$V_f$	540,84	15077,30	17175,02	4,05	83,41	1,45	0,68	0,05	0,04	21,04	0,12	0,06	0,06	0,42
$h_a^2$	0,98 (0,42) <sup>#</sup>	0,34 (0,24)	0,54 (0,30)	0,85 (0,39)	0,52 (0,29)	0,09 (0,13)	0,10 (0,13)	0,10 (0,13)	0,00 (0,01)	0,98 (0,50)	1,00 (0,57)	0,38 (0,25)	0,01 (0,03)	0,35 (0,24)
$h_{mp}^2$	0,93	0,81	0,88	0,85	0,82	0,53	0,35	0,51	0,01	0,94	0,97	0,83	0,02	0,67
$c_{parc}^2$	0,01	0,00	0,00	0,06	0,03	0,00	0,08	0,01	0,00	0,03	0,02	0,00	0,15	0,08
Acurácia	0,97	0,90	0,94	0,92	0,91	0,73	0,59	0,71	0,12	0,97	0,98	0,91	0,15	0,82
$CV_{gi}(\%)$	79,52	17,06	21,55	64,04	17,56	7,45	5,39	11,84	1,12	58,91	17,29	19,35	2,34	34,38
$CV_{gp}(\%)$	39,76	8,53	10,78	32,02	8,78	3,72	2,70	5,92	0,56	29,45	8,65	9,67	1,17	17,19
$CV_e(\%)$	18,70	7,13	6,95	23,08	7,02	6,09	6,32	10,09	7,98	12,53	2,81	7,63	13,16	21,12
$CV_r$	2,13	1,20	1,55	1,39	1,25	0,61	0,43	0,59	0,07	2,35	3,08	1,27	0,09	0,81
Média geral	29,05	418,22	447,27	2,89	37,55	4,97	4,79	0,60	0,62	7,72	1,99	0,81	0,82	1,11

$V_a$ : variância genética aditiva;  $V_{parc}$ : variância ambiental entre parcelas;  $V_e$ : variância residual (ambiental + não aditiva);  $V_f$ : variância fenotípica individual;  $h_a^2$ : herdabilidade individual no sentido restrito;  $h_{mp}^2$ : herdabilidade da média de progênies, assumindo sobrevivência completa;  $c_{parc}^2$ : coeficiente de determinação dos efeitos de parcelas;  $CV_{gi}$ : coeficiente de variação genotípica aditiva individual;  $CV_{gp}$ : coeficiente de variação genotípica entre progênies;  $CV_e$ : coeficiente de variação residual;  $CV_r = CV_{gp}/CV_e$  = coeficiente de variação relativa; M: média geral (genotípica) do experimento.

<sup>#</sup>Os valores entre parênteses representam os desvios padrão das respectivas estimativas de  $h_a^2$ .

**Tabela 3.** Estimativas de parâmetros genéticos obtidos a partir de quatro procedências de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), no ano agrícola de 2010, para os caracteres produção de grãos da primeira colheita do ano (PGc1); produção de grãos da segunda colheita do ano (PGc2); produção de grãos anual (PGA); número de cachos da primeira colheita do ano (NCc1); número de cachos da segunda colheita do ano (NCc2); número de frutos por cacho da primeira colheita do ano (F/Cc1); número de frutos por cacho da segunda colheita do ano (F/Cc2); índice de maturação na colheita da primeira colheita do ano (IMc1); índice de maturação na colheita da segunda colheita do ano (IMc2); número de ramos (NR); altura da planta (Alt); projeção da copa no sentido do maior espaçamento (P1); projeção da copa no sentido do menor espaçamento (P2) e volume da copa (Vc). Porto Velho – RO.

Parâmetro	PGc1	PGc2	PGA	NCc1	NCc2	F/Cc1	F/Cc2	IMc1	IMc2	NR	Alt	P1	P2	Vc
$V_a$	2889,79	19344,68	33349,23	18,92	0,33	0,00	0,00	0,02	0,00	0,60	0,20	0,11	0,04	27,82
$V_{\text{parc}}$	1119,51	5056,35	3558,29	6,59	29,04	0,07	0,02	0,00	0,01	5,81	0,00	0,00	0,00	0,54
$V_e$	2977,56	36411,81	44399,06	2,20	37,52	0,43	0,27	0,01	0,01	24,15	0,00	0,01	0,10	0,00
$V_f$	6986,86	60812,85	81306,58	27,71	66,89	0,51	0,28	0,04	0,02	30,56	0,20	0,11	0,14	28,36
$h_a^2$	0,41 (0,26) <sup>#</sup>	0,32 (0,23)	0,41 (0,26)	0,68 (0,34)	0,00 (0,03)	0,00 (0,02)	0,00 (0,02)	0,64 (0,33)	0,01 (0,03)	0,02 (0,06)	1,00 (0,58)	0,94 (0,40)	0,27 (0,21)	0,98 (0,46)
$h_{mp}^2$	0,60	0,64	0,76	0,65	0,01	0,01	0,01	0,87	0,01	0,06	0,96	0,94	0,72	0,94
$c_{\text{parc}}^2$	0,16	0,08	0,04	0,24	0,43	0,15	0,06	0,02	0,32	0,19	0,03	0,00	0,03	0,02
Acurácia	0,78	0,80	0,87	0,81	0,09	0,09	0,10	0,93	0,12	0,24	0,98	0,97	0,85	0,97
$CV_{gi}(\%)$	20,70	20,65	19,66	33,75	2,28	1,17	0,62	25,11	1,52	3,13	15,89	11,11	6,95	28,17
$CV_{gp}(\%)$	10,35	10,33	9,83	16,88	1,14	0,58	0,31	12,55	0,76	1,56	7,94	5,55	3,48	14,09
$CV_e(\%)$	14,62	13,48	9,57	21,41	22,21	11,46	5,21	8,44	10,74	10,97	2,83	2,53	3,80	6,37
$CV_r$	0,71	0,77	1,03	0,79	0,05	0,05	0,06	1,49	0,07	0,14	2,81	2,20	0,91	2,21
Média geral	259,72	673,51	928,88	12,89	25,23	2,78	3,46	0,62	0,75	24,70	2,82	2,94	2,84	18,72

$V_a$ : variância genética aditiva;  $V_{\text{parc}}$ : variância ambiental entre parcelas;  $V_e$ : variância residual (ambiental + não aditiva);  $V_f$ : variância fenotípica individual;  $h_a^2$ : herdabilidade individual no sentido restrito;  $h_{mp}^2$ : herdabilidade da média de progênies, assumindo sobrevivência completa;  $c_{\text{parc}}^2$ : coeficiente de determinação dos efeitos de parcelas;  $CV_{gi}$ : coeficiente de variação genotípica aditiva individual;  $CV_{gp}$ : coeficiente de variação genotípica entre progênies;  $CV_e$ : coeficiente de variação residual;  $CV_r = CV_{gp}/CV_e$  = coeficiente de variação relativa; M: média geral (genotípica) do experimento.

<sup>#</sup> Os valores entre parênteses representam os desvios padrão das respectivas estimativas de  $h_a^2$ .

**Tabela 4.** Estimativas de parâmetros genéticos obtidos a partir de quatro procedências de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), considerando conjuntamente os anos agrícolas 2009 e 2010, para os caracteres produção de grãos da primeira colheita do ano (PGc1); produção de grãos da segunda colheita do ano (PGc2); produção de grãos anual (PGA); número de cachos da primeira colheita do ano (NCc1); número de cachos da segunda colheita do ano (NCc2); número de frutos por cacho da primeira colheita do ano (F/Cc1); número de frutos por cacho da segunda colheita do ano (F/Cc2); índice de maturação na colheita da primeira colheita do ano (IMc1); índice de maturação na colheita da segunda colheita do ano (IMc2); número de ramos (NR); altura da planta (Alt); projeção da copa no sentido do maior espaçamento (P1); projeção da copa no sentido do menor espaçamento (P2) e volume da copa (Vc). Porto Velho – RO.

Parâmetro	PGc1	PGc2	PGA	NCc1	NCc2	F/Cc1	F/Cc2	IMc1	IMc2	NR	Alt	P1	P2	Vc
$V_a$	1403,52	12239,94	20935,67	8,91	20,59	0,00	0,01	0,01	0,00	11,73	0,16	0,06	0,02	7,07
$V_{parc}$	646,39	2453,09	1858,92	4,00	16,10	0,05	0,04	0,00	0,00	2,79	0,00	0,00	0,01	2,02
$V_{perm}$	87,85	52,39	145,32	0,01	0,07	0,01	0,03	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,08
$V_e$	1604,15	23081,44	26229,29	3,14	38,42	0,91	0,40	0,03	0,02	8,10	0,00	0,03	0,07	1,91
$V_f$	3741,91	37826,86	49169,21	16,07	75,18	0,97	0,49	0,04	0,03	22,64	0,16	0,09	0,10	11,07
$h_a^2$	0,38 (0,18)	0,32 (0,16)	0,43 (0,19)	0,55 (0,22)	0,27 (0,15)	0,00 (0,01)	0,02 (0,04)	0,29 (0,16)	0,04 (0,06)	0,52 (0,21)	1,00 (0,41)	0,64 (0,23)	0,22 (0,14)	0,64 (0,23)
$R$	0,57 (0,11)	0,39 (0,09)	0,47 (0,10)	0,80 (0,13)	0,49 (0,10)	0,06 (0,04)	0,17 (0,06)	0,32 (0,08)	0,14 (0,05)	0,64 (0,12)	2,03 (0,20)	0,66 (0,12)	0,29 (0,08)	0,83 (0,13)
$c_{parc}^2$	0,17	0,06	0,04	0,25	0,21	0,05	0,09	0,02	0,08	0,12	0,03	0,02	0,06	0,18
$c_{perm}^2$	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01
<i>Média geral</i>	144,38	545,83	688,07	7,89	31,39	3,88	4,13	0,61	0,68	16,21	2,40	1,88	1,83	9,92

$V_a$ : variância genética aditiva;  $V_{parc}$ : variância ambiental entre parcelas;  $V_{perm}$ : variância dos efeitos permanentes;  $V_e$ : variância residual temporária;  $V_f$ : variância fenotípica individual;  $h_a^2$ : herdabilidade individual no sentido restrito;  $r$ : repetibilidade individual;  $c_{parc}^2$ : coeficiente de determinação dos efeitos de parcelas;  $c_{perm}^2$ : coeficiente de determinação dos efeitos permanentes M: média geral (genotípica) do experimento.

#Os valores entre parênteses representam os desvios padrão das respectivas estimativas de  $h_a^2$  e  $r$ .

Para quase todos os caracteres obteve-se  $h_{mp}^2 > h_a^2$ . Em geral, herdabilidades individuais de baixa magnitude são comuns para os caracteres quantitativos e, via de regra, conduzem a moderadas e altas magnitudes das herdabilidades em nível de média de progênes (RESENDE, 2002).

A boa precisão experimental e acurácia em relação à análise dos dados foi indicada pelos baixos valores do coeficiente de determinação dos efeitos de parcelas ( $c_{parcel}^2$ ) e coeficiente de variação experimental ( $CV_e$ ) para a maioria dos caracteres avaliados durante os dois anos agrícolas. No presente trabalho os valores de  $c_{parcel}^2$  encontraram-se entre os limites de zero, para produção de grãos, frutos por cacho na primeira colheita do ano (FCc1), índice de maturação na segunda colheita do ano (IMc2) e em P1 (Tabelas 2, 3 e 4), a 0,43, para NCc2 (Tabela 2).

Valores de  $CV_e$  variaram de 2,81 (Alt) a 23,08% (NCc1) considerando no ano agrícola de 2009 e de 2,53 (P1) a 22,21% (NCc2) em 2010. O coeficiente de variação experimental pode variar de espécie para espécie, tipo de caractere, delineamento experimental e contexto genético, no entanto, para caracteres fenotípicos contínuos observa-se que valores inferiores a 20% têm refletido boa precisão durante o desenvolvimento do experimento para diferentes espécies.

A acurácia refere-se à correlação entre os valores genéticos preditos e os valores genéticos verdadeiros dos indivíduos (RESENDE, 2002). Altos valores de herdabilidade em nível de médias de famílias (procedências) proporcionaram altas acurácias seletivas, cujos valores variaram de 0,82 (Vc) a 0,98 (Alt) no primeiro ano agrícola (Tabela 2) e, 0,78 (PGc1) a 0,98 (Alt) no segundo ano agrícola (Tabela 2).

As estimativas do coeficiente de variação relativo ( $CV_r$ ) alternaram entre 0,05 a 3,08 considerando todos os caracteres avaliados para os anos de 2009 e 2010. De acordo com Vencovsky (1987), valores de  $CV_r$  próximos ou superiores a 1,00 indicam chances elevadas

em se obter ganhos genéticos na seleção entre populações (ex.: procedências ou famílias), sugerindo maior facilidade em se trabalhar com estes caracteres nos programas de melhoramento (LAVIOLA et al., 2010). No ano agrícola de 2009 (Tabela 2) destacaram-se os valores de  $CV_r$  dos caracteres de produção de grãos (1,55 a 2,13), número de cachos (1,25 e 1,39), número de ramos (2,35), altura (3,08), projeção da copa no maior espaçamento (1,27) e volume de copa (0,81). No segundo ano agrícola (Tabela 3) destaque para produção de grãos (0,71 a 1,03),  $NCc1$  (0,79),  $IMc1$  (1,49), altura (2,81), projeção da copa (0,91 e 2,20) e volume de copa (2,21). Pode haver eficiência seletiva mesmo para aqueles caracteres cujas relações  $CV_g/CV_e$  foram menores que 1,00, em razão das altas magnitudes das respectivas acurácias (RESENDE e DUARTE, 2007).

O coeficiente de determinação dos efeitos permanentes ( $c_{perm}^2$ ) foi bastante reduzido (e até nulo) para todos os caracteres, indicando que a correlação ambiental das árvores dentro das parcelas ao longo do tempo foi negligenciável (Tabela 4).

Aos caracteres número de frutos por cacho e índice de maturação se verificou que  $V_a$  é bastante reduzida (e até nula), indicando que a maior parte da variabilidade é de natureza ambiental. Suas herdabilidades e acurácia também foram de magnitudes muito reduzidas indicando não ser possível obter ganho de seleção com essas características.

Numa avaliação no estágio inicial de desenvolvimento do pinhão-mansão, Laviola et al. (2010) sinalizaram a existência de variabilidade genética passível de ser explorada no programa de melhoramento, com elevada eficiência na seleção de características vegetativas.

Os resultados obtidos com as estimativas dos componentes de variância e parâmetros genéticos (Tabelas 2, 3 e 4) revelaram existir considerável variabilidade genética para a maioria dos caracteres avaliados e boas chances em se obter ganhos genéticos dentro do programa de melhoramento genético da EMBRAPA-CPAFRO, em Porto Velho.

As médias genotípicas do experimento aumentaram de um ano para o outro em diferentes proporções para os 14 caracteres. Para a produção de grãos na colheita de julho

(PGc1) o incremento genotípico, em  $g \cdot \text{árvore}^{-1}$ , do segundo ano agrícola em relação a média genotípica do primeiro ano foi aproximadamente 9 vezes ( $259,72/29,05 = 8,94$ ). Outros destaques foram dados a volume da copa – Vc – (16,86 vezes, incremento em  $\text{cm}^3$ ), número de cachos na colheita de julho – NCc1 – ( $\cong 4,5$  vezes), projeção da copa ( $\cong 3,5$  vezes, em cm) tanto no maior (quanto no menor espaçamento (P1) e número de ramos e produção anual ( $\cong 3$  vezes).

No nosso conhecimento, não existem publicações do número mínimo de medidas necessárias para seleção de genótipos superiores dessa oleaginosa. Estimativas de repetibilidade para os 14 caracteres estudados foram obtidas com o intuito de medir a consistência da posição relativa das árvores ao longo de sucessivas medições (Tabela 4).

De acordo com a classificação dada por Resende (2002) repetibilidade consideradas altas ( $\rho \geq 0,60$ ), observadas a Alt ( $\hat{\rho}_i=2,03, +/-0,20$ ), Vc ( $\hat{\rho}_i=0,83, +/-0,13$ ) e NCc1 ( $\hat{\rho}_i=0,80, +/- 0,13$ ), (+/-). Estimativas medianas ( $0,30 < \rho < 0,60$ ) foram observadas nos caracteres P1 ( $\hat{\rho}_i=0,66, +/-0,12$ ), NR ( $\hat{\rho}_i=0,64, +/-0,12$ ), PGc1 ( $\hat{\rho}_i=0,57, +/-0,11$ ), NCc2 ( $\hat{\rho}_i=0,49, +/-0,10$ ), PGA ( $\hat{\rho}_i=0,47, +/-0,10$ ) e PGc2 ( $\hat{\rho}_i=0,39, +/-0,09$ ).

Altos valores de repetibilidade indicam ser possível predizer o valor real do indivíduo com um número relativamente pequeno de medições (CRUZ e REGAZZI, 2001). Dentro dos níveis de precisão aceitáveis, deve-se buscar redução do período de avaliação e medições para economia de recursos e tempo (CHIA et al., 2009).

No estudo de eficiência da seleção, ao considerar o coeficiente determinação genotípico –  $R_g^2$ , que mede o grau de certeza na predição do real valor de melhoramento de um dado indivíduo baseado em  $m$  medidas (Tabela 5) devem ser próximo a 0,85 (ou 85%).

**Tabela 5.** Parâmetros genéticos e eficiência referente ao uso de até 10 colheitas em pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), para os caracteres produção de grãos da primeira colheita do ano (PGc1); produção de grãos da segunda colheita do ano (PGc2); produção de grãos anual (PGA); número de cachos da primeira colheita do ano (NCc1); número de cachos da segunda colheita do ano (NCc2); número de ramos (NR); altura da planta (Alt); projeção da copa no sentido do maior espaçamento (P1); projeção da copa no sentido do menor espaçamento (P2) e volume da copa (Vc). Porto Velho – RO.

Variável	Parâmetro genético	Número de colheitas									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PGc1	$h_{im}^2$	0,38	0,48	0,53	0,55	0,57	0,58	0,59	0,60	0,61	0,61
	$R_g^2$	0,57	0,73	0,80	0,84	0,87	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93
	Acurácia	0,61	0,69	0,72	0,74	0,76	0,76	0,77	0,77	0,78	0,78
	Eficiência <sup>#</sup>	1,00	1,13	1,18	1,21	1,23	1,25	1,26	1,27	1,27	1,28
PGc2	$h_{im}^2$	0,32	0,47	0,55	0,60	0,63	0,66	0,68	0,69	0,71	0,72
	$R_g^2$	0,39	0,56	0,66	0,72	0,76	0,79	0,82	0,84	0,85	0,86
	Acurácia	0,57	0,68	0,74	0,77	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85
	Eficiência	1,00	1,20	1,30	1,36	1,40	1,43	1,45	1,46	1,48	1,49
PGAnual	$h_{im}^2$	0,43	0,58	0,66	0,71	0,74	0,77	0,78	0,80	0,81	0,82
	$R_g^2$	0,47	0,64	0,72	0,78	0,81	0,84	0,86	0,87	0,89	0,90
	Acurácia	0,65	0,76	0,81	0,84	0,86	0,88	0,89	0,89	0,90	0,90
	Eficiência	1,00	1,17	1,25	1,29	1,32	1,34	1,36	1,37	1,38	1,39
NCc1	$h_{im}^2$	0,55	0,61	0,64	0,65	0,66	0,66	0,67	0,67	0,67	0,67
	$R_g^2$	0,80	0,89	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,97	0,97	0,98
	Acurácia	0,74	0,78	0,80	0,81	0,81	0,81	0,82	0,82	0,82	0,82
	Eficiência	1,00	1,05	1,07	1,08	1,09	1,09	1,10	1,10	1,10	1,10
NCc2	$h_{im}^2$	0,27	0,37	0,42	0,44	0,46	0,48	0,49	0,50	0,50	0,51
	$R_g^2$	0,49	0,66	0,74	0,79	0,83	0,85	0,87	0,88	0,90	0,91
	Acurácia	0,52	0,61	0,64	0,67	0,68	0,69	0,70	0,70	0,71	0,71
	Eficiência	1,00	1,16	1,23	1,27	1,30	1,32	1,33	1,34	1,35	1,36
NR	$h_{im}^2$	0,52	0,63	0,68	0,71	0,73	0,74	0,75	0,75	0,76	0,76
	$R_g^2$	0,64	0,78	0,84	0,88	0,90	0,92	0,93	0,93	0,94	0,95
	Acurácia	0,72	0,79	0,82	0,84	0,85	0,86	0,86	0,87	0,87	0,87
	Eficiência	1,00	1,10	1,15	1,17	1,18	1,19	1,20	1,21	1,21	1,21
Alt	$h_{im}^2$	1,98	1,31	1,18	1,12	1,09	1,07	1,05	1,04	1,04	1,03
	$R_g^2$	2,03	1,34	1,20	1,15	1,11	1,09	1,08	1,07	1,06	1,05
	Acurácia	1,41	1,14	1,08	1,06	1,04	1,03	1,03	1,02	1,02	1,01
	Eficiência	1,00	0,81	0,77	0,75	0,74	0,73	0,73	0,73	0,72	0,72
P1	$h_{im}^2$	0,64	0,77	0,83	0,86	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,92
	$R_g^2$	0,66	0,79	0,85	0,89	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,95
	Acurácia	0,80	0,88	0,91	0,93	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96
	Eficiência	1,00	1,10	1,14	1,16	1,17	1,18	1,19	1,19	1,20	1,20
P2	$h_{im}^2$	0,22	0,34	0,42	0,47	0,51	0,54	0,56	0,58	0,60	0,61
	$R_g^2$	0,29	0,45	0,55	0,62	0,67	0,71	0,74	0,76	0,78	0,80
	Acurácia	0,47	0,58	0,65	0,69	0,71	0,73	0,75	0,76	0,77	0,78
	Eficiência	1,00	1,25	1,38	1,46	1,52	1,57	1,60	1,63	1,65	1,67
Vc	$h_{im}^2$	0,64	0,70	0,72	0,73	0,74	0,75	0,75	0,75	0,75	0,76
	$R_g^2$	0,83	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98
	Acurácia	0,80	0,84	0,85	0,86	0,86	0,86	0,87	0,87	0,87	0,87
	Eficiência	1,00	1,05	1,06	1,07	1,08	1,08	1,08	1,09	1,09	1,09

$h_{im}^2$ : herdabilidade individual baseada em médias de colheita,  $R_g^2$ : coeficiente de determinação genotípica.

<sup>#</sup>A eficiência foi calculada como a razão entre a estimativa da acurácia da  $m_i$  colheita e a acurácia obtida em uma única colheita ( $i = 1, \dots, 10$ ).

Observou-se que para os caracteres NCc1, NR, Alt, P1 e Vc, um número igual ou inferior a três medições anuais produzem boas estimativas de herdabilidade, com precisão para predizer o valor real do indivíduo (acurácia). Com eficiência quando comparada a uma única medição. Já os caracteres de produção de grãos e NCc2 exigiram maior número de colheitas, ou seja, de medidas repetidas ( $m_i > 4$ ).

Em espécies perenes é esperado que a superioridade inicial após a seleção de um dado genótipo persista através de todo o ciclo (anos), ou seja, espera-se uma alta repetibilidade (RESENDE, 2002). No dendê (*Elaeis spp.*) estudos de repetibilidade dos componentes de produção para o número de cachos por planta e a produção anual indicam que período mínimo de colheitas para seleção de plantas é de quatro anos, com  $R_g^2 = 87,6\%$ . (CEDILHO et al., 2008). Chia et al. (2009) também relataram ser necessárias pelo menos quatro medições (uma por ano) para se atingir um grau de certeza de 85%. Entretanto, se o objetivo for selecionar árvores híbridas individuais para serem empregadas como clones (via procedimentos de micropropagação) o número mínimo de medidas consecutivas sobe para seis para se atingir uma precisão de 80%.

## 5.2 Estudo de correlação genotípica e fenotípica

Nos programas de melhoramento de plantas, conhecer o grau de associação entre caracteres é fundamental em seus estágios iniciais. Isto porque caracteres de interesse agrônômico, ou comerciais, podem exibir, por natureza, herdabilidade reduzida. Em alguns casos, podem ser necessários grandes esforços para mensurá-los, ou até mesmo, necessitarem destruir a matéria prima (ex.: grãos).

Caracteres produtivos de espécies perenes, tais como frutíferas ou palmeiras podem demorar anos para que seus componentes genéticos sejam caracterizados apropriadamente.



Assim, ao se investigar sobre as relações entre caracteres, os métodos de seleção indireta e, ou, simultânea podem ser otimizados de modo a proporcionar maior progresso genético na característica de interesse, permitindo a construção de índices de seleção.

As estimativas de correlações genotípicas e fenotípicas entre os 14 caracteres estão apresentados na Tabela 6. Correlações genotípicas e fenotípicas com elevadas magnitudes ( $r > 0,95$ ), positivas e significativas ( $P < 0,01$  ou  $P < 0,05$ ) foram obtidas entre PGc1 x NCc1; PGc1 x NCc2; PGc1 x NR; PGC2 x PGA; NCc1 x NCc2; NCc1 x NR, NCc2 x NR, Alt x P2; Alt x Vc. Entre os caracteres IMc1 e IMc2 as correlações foram negativa.

Muitas outras correlações genotípicas e fenotípicas foram de magnitude elevada ( $r \geq 0,75$ ) ou moderada ( $0,60 < r < 0,75$ ), negativas ou positivas, no entanto, suas significâncias não foram atestadas pelo teste t. Duas hipóteses podem explicar o ocorrido: na primeira, realmente não há associação linear entre os caracteres e na segunda, como as correlações foram estimadas a partir das informações das quatro procedências, ao invés dos dados das 192 árvores, por questões amostrais não foi possível detectar significância para elas.

Embora não significativas, destacaram-se as associações genotípicas e fenotípicas entre PGC2 x PGA, e entre caracteres de produção de grãos (PGc2 e PGA) com os caracteres de arquitetura da planta (altura, projeção da copa volume da copa).

**Tabela 6.** Estimativas de correlações genotípicas (acima da diagonal) e fenotípicas (abaixo da diagonal) entre os caracteres produção de grãos da primeira colheita do ano (PGc1); produção de grãos da segunda colheita do ano (PGc2); produção de grãos anual (PGA); número de cachos da primeira colheita do ano (NCc1); número de cachos da segunda colheita do ano (NCc2); número de frutos por cacho da primeira colheita do ano (F/Cc1); número de frutos por cacho da segunda colheita do ano (F/Cc2); índice de maturação na colheita da primeira colheita do ano (IMc1); índice de maturação na colheita da segunda colheita do ano (IMc2); número de ramos (NR); altura da planta (Alt); projeção da copa no sentido do maior espaçamento (P1); projeção da copa no sentido do menor espaçamento (P2) e volume da copa (Vc), mensurados em procedências de *Jatropha curcas* L no ano agrícola de 2010. Porto Velho – RO.

Variáveis	PGc1	PGc2	PGA	NCc1	NCc2	F/Cc1	F/Cc2	IMc1	IMc2	NR	Alt	P1	P2	Vc
PGc1	1	0,333	0,651	0,989*	0,998**	-0,114	0,834	0,360	-0,511	0,988*	0,359	0,733	0,134	0,444
PGc2	0,411	1	0,930	0,290	0,371	0,015	-0,223	-0,338	0,303	0,326	0,819	0,846	0,876	0,864
PGA	0,671	0,952*	1	0,603	0,684	0,034	0,151	-0,081	0,002	0,651	0,757	0,944	0,724	0,832
NCc1	0,989**	0,355	0,622	1	0,978*	-0,256	0,825	0,263	-0,427	0,955*	0,405	0,731	0,160	0,474
NCc2	0,998**	0,452	0,703	0,978*	1	-0,058	0,818	0,381	-0,526	0,994**	0,359	0,745	0,145	0,448
F/Cc1	0,211	0,099	0,151	0,076	0,260	1	0,026	0,722	-0,606	0,041	-0,561	-0,281	-0,415	-0,480
F/Cc2	0,783	-0,054	0,219	0,735	0,785	0,616	1	0,679	-0,799	0,849	-0,180	0,236	-0,425	-0,106
IMc1	0,420	-0,154	0,016	0,323	0,445	0,899	0,865	1	-0,984*	0,480	-0,682	-0,234	-0,741	-0,589
IMc2	-0,557	0,168	-0,051	-0,481	-0,572	-0,802	-0,945	-0,980*	1	-0,614	0,584	0,110	0,690	0,487
NR	0,994**	0,435	0,688	0,967*	0,998**	0,317	0,816	0,498	-0,618	1	0,266	0,686	0,060	0,363
Alt	0,321	0,741	0,711	0,371	0,317	-0,579	-0,337	-0,664	0,586	0,266	1	0,870	0,958*	0,992**
P1	0,711	0,851	0,931	0,715	0,719	-0,181	0,142	-0,210	0,116	0,686	0,870	1	0,767	0,922
P2	0,099	0,787	0,673	0,127	0,107	-0,522	-0,524	-0,724	0,702	0,060	0,958*	0,767	1	0,944
Vc	0,409	0,805	0,792	0,444	0,410	-0,479	-0,242	-0,568	0,491	0,363	0,992**	0,922	0,944	1

\*, \*\* Significativo a 5 e 1% pelo teste t, respectivamente.

### 5.3 Potencial produtivo e progressos genéticos

A média fenotípica da produção de grãos anual no primeiro ano agrícola do experimento foi de 447,27 g.árvore<sup>-1</sup>, variando de 13,77 a 774,32 g (Tabela 7). No segundo ano (Tabela 8), a produção, em valor fenotípico médio, superou duas vezes a produção de grãos do primeiro ano de colheita. Em contrapartida, a variação (amplitude = 2056,54 g; CV = 32,43%) das produções das árvores de pinhão-mansó aumentou em relação ao primeiro ano (amplitude = 774,32 g; CV = 30,55%). Estas informações corroboram as conclusões obtidas no estudo de repetibilidade individual, cujo número mínimo de medidas para as árvores repetirem a expressão do caráter foi superior a três colheitas, estágio este em que a planta atinge a estabilidade produtiva (DIAS et al., 2007).

**Tabela 7.** Análise descritiva de alguns componentes de produção em pinhão-mansó (*Jatropha curcas* L.) com base em informações fenotípicas no ano agrícola de 2009. Porto Velho – RO.

Variável	Medida				
	Média	Mínimo	Máximo	Desvio	C.V. (%) <sup>#</sup>
PGA	447,27	13,77	774,32	136,63	30,55
NCc1	2,76	0,00	9,00	2,04	73,72
NCc2	37,55	8,00	63,00	9,47	25,21
NR	7,46	0,00	18,00	3,92	52,55

<sup>#</sup>C.V.: coeficiente de variação, em porcentagem.

PGA : produção de grãos anual; NCc1: número de cachos da primeira colheita do ano; NCc2: número de cachos da segunda colheita do ano; NR: número de ramos.

**Tabela 8.** Análise descritiva de alguns componentes de produção em pinhão-mansó (*Jatropha curcas* L.) com base em informações fenotípicas no ano agrícola de 2010. Porto Velho – RO.

Variável	Medida				
	Média	Mínimo	Máximo	Desvio	C.V. (%) <sup>#</sup>
PGA	925,03	0,00	2056,54	299,96	32,43
NCc1	12,82	0,00	35,00	5,13	40,03
NCc2	25,15	0,00	55,00	8,66	34,43
NR	24,70	1,00	43,00	5,46	22,11

<sup>#</sup>C.V.: coeficiente de variação, em porcentagem.

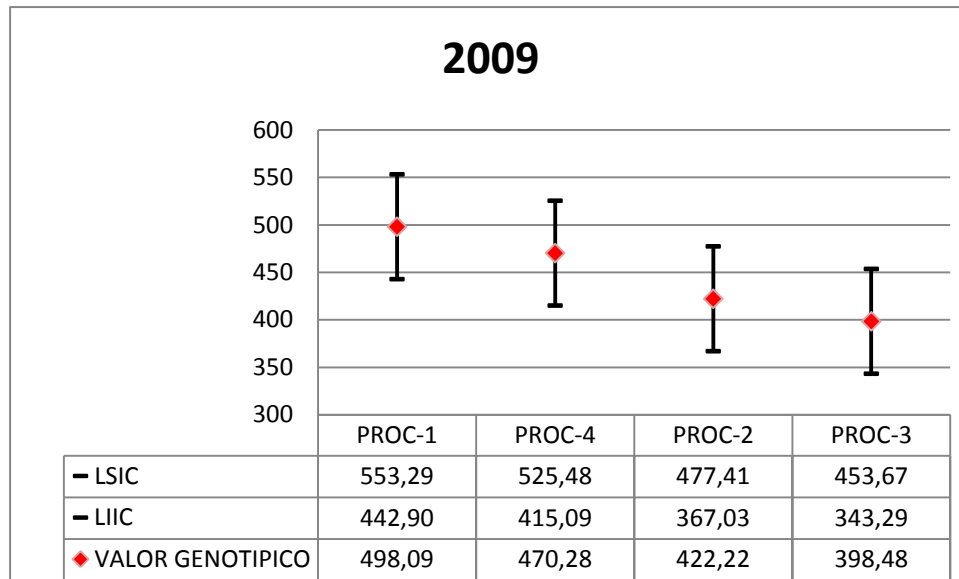
PGA : produção de grãos anual; NCc1: número de cachos da primeira colheita do ano; NCc2: número de cachos da segunda colheita do ano; NR: número de ramos.

Pela análise descritiva, existe ao menos uma planta de pinhão-manso no experimento que não formou cachos e, conseqüentemente, não produziu. A menor ou maior formação de cachos e, por conseguinte, produção de grãos pode ser explicada pelo reduzido ou elevado número de ramos das plantas, respectivamente. A formação de ramos também aumentou do primeiro para o segundo mérito agrícola. De acordo com análise de correlações ( $r$ ) genotípicas e fenotípicas existe elevado grau de associação entre número de ramos e número cachos ( $r > 0,95$ ) (Tabela 6).

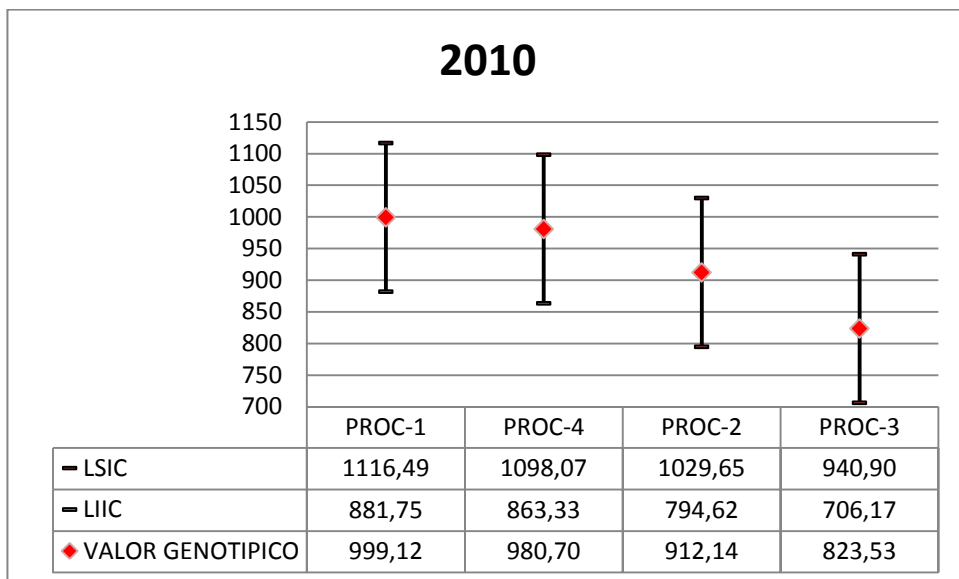
Na comparação da variação fenotípica em nível de indivíduos, NCc1 e NR foram os caracteres que apresentaram maior variação ( $CV = 73,72$  e  $CV = 52,55\%$ , respectivamente) no primeiro ano de colheita – 2009 (Tabela 7). No segundo ano, a variação em NCc1 manteve-se maior ( $CV = 40,03\%$ ) em relação as demais características. Quanto ao NR, menor variação ( $CV = 22,11\%$ ) foi observada. Conforme os resultados da Tabela 5, com duas medições, o caractere número de ramos já exibia coeficiente de determinação genotípico de 0,78 (valor mediano), com acurácia de 0,79 (valor mediano), herdabilidade genotípica 0,21 (=  $0,63/0,52 - 1$ ) vezes maior do que a obtida com apenas uma mensuração e com 10% mais eficiência em prever os valores genéticos verdadeiros. Portanto a formação de novos ramos na porção a um metro do solo deve estabilizar-se entre dois e três anos de idade da planta.

Os valores genotípicos da produção de grãos anual das procedências Rondônia (PROC-1 e PROC-2), Minas Gerais (PROC-3) e São Paulo (PROC-4) foram comparados nas safras de 2009, 2010 e na análise conjunta 2009/2010 (Figuras 1, 2 e 3, respectivamente).

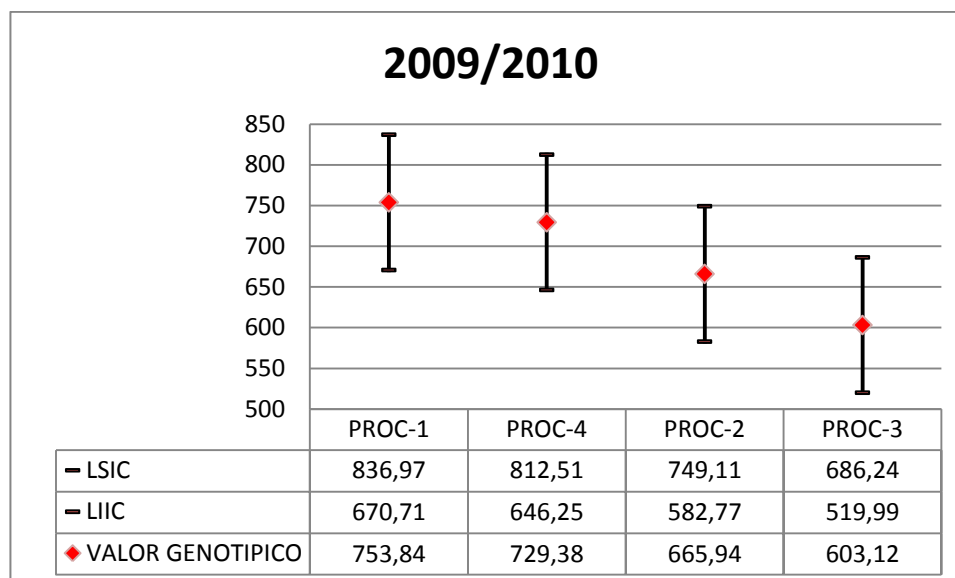
Não houve diferenças significativas entre as procedências, no entanto, nas três comparações ocorreu a mesma ordenação dos valores genotípicos preditos, PROC-1 > PROC-4 > PROC-2 > PROC-3.



**Figura 1.** Comparação entre os valores genotípicos da produção de grãos anual de quatro procedências de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) oriundas de Rondônia (PROC-1 e PROC-2), Minas Gerais (PROC-3) e São Paulo (PROC-4), com base no ano agrícola de 2009, em Porto Velho – RO. LSIC e LIIC representam os limites de confiança superior e inferior, respectivamente.



**Figura 2.** Comparação entre os valores genotípicos da produção de grãos anual de quatro procedências de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) oriundas de Rondônia (PROC-1 e PROC-2), Minas Gerais (PROC-3) e São Paulo (PROC-4), com base no ano agrícola de 2010, em Porto Velho – RO. LSIC e LIIC representam os limites de confiança superior e inferior, respectivamente.



**Figura 3.** Comparação entre os valores genotípicos da produção de grãos anual de quatro procedências de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) oriundas de Rondônia (PROC-1 e PROC-2), Minas Gerais (PROC-3) e São Paulo (PROC-4), com base na análise conjunta dos anos agrícolas de 2009 e 2010, em Porto Velho – RO. LSIC e LIIC representam os limites de confiança superior e inferior, respectivamente.

Os ganhos genéticos foram preditos com a seleção precoce dos melhores indivíduos. Na avaliação da segunda colheita anual (Tabela 10) os ganhos até o décimo melhor indivíduo foram superiores a 23%. Entre os dez melhores seis pertencem à procedência 1 e os outros quatro à procedência 4. Predizendo a produtividade ( $\text{ton.ha}^{-1}$ ) no espaçamento  $3 \times 2 \text{ m}$  ( $\cong 1667$  plantas), considerando a seleção dos 10 melhores, atinge-se rendimento de grãos de  $1,91 \text{ ton.ha}^{-1}$ .

Ressalta-se que a diminuição da pressão de seleção, com o aumento do número de indivíduos selecionados pode aumentar a representatividade genética das amostras de plantas, em futuros ciclos reprodutivos.

**Tabela 9.** Ganhos genéticos preditos considerando a produção de grãos anual (g.árvore<sup>-1</sup>), para o ano agrícola de 2010, considerando uma pressão de seleção de até 10 indivíduos. Porto Velho – RO.

Ordem	f	a	u+a	Ganho	Nova Média	Ganho (%)
1	2056,5	453,4	1378,4	453,4	1378,4	49,0
2	1476,2	225,4	1150,5	339,4	1264,4	36,7
3	1330,1	210,9	1135,9	296,6	1221,6	32,1
4	1397,4	199,2	1124,2	272,2	1197,3	29,4
5	1281,9	190,4	1115,4	255,9	1180,9	27,7
6	1259,1	187,2	1112,2	244,4	1169,5	26,4
7	1422,4	184,8	1109,8	235,9	1160,9	25,5
8	1470,2	184,8	1109,8	229,5	1154,5	24,8
9	1228,1	172,4	1097,5	223,2	1148,2	24,1
10	1378,4	170,1	1095,2	217,9	1142,9	23,6

f: valor fenotípico; a: efeito aditivo;  $\mu+a$ : valor genético aditivo.

Apesar do bom progresso genético com a seleção precoce, devem-se ter ressalvas em razão da repetibilidade intrínseca ao caractere produção de grãos, o que corrobora os resultados de repetibilidade individual (Tabela 4 e 5).

Os ganhos genéticos foram obtidos também pelo método centroide. A análise de variância conjunta dos anos agrícolas 2009 e 2010 (Tabela 10), para o caractere produção de grãos anual, revelou a existência de diferenças significativa entre as médias do ano agrícola e da interação procedências x ano agrícola, pelo teste F. Essa interação significativa indica que os tratamentos apresentam desempenho diferenciado frente aos anos agrícolas. Segundo Rocha et al. (2005) o método centroide é não paramétrico e tem como objetivo facilitar a recomendação de genótipos, pois permite o direcionamento dos genótipos em relação a variação ambiental e dispensa a análise de vários parâmetros como ocorre nos métodos baseados em regressão.

**Tabela 10.** Análise da variância para o caractere produção de grãos anual (PGA) das 192 plantas de pinhão-mansão com base nos dados da análise conjunta dos anos agrícolas 2009 e 2010.

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
blocos/ano agrícola	4	111458,67	27864,67	
blocos	2	54386,61	27193,30	
blocos x ano agrícola	2	57072,06	28536,03	
procedências	3	63177,51	21059,17	3,14
ano agrícola	1	1369514,51	1369514,51 <sup>**</sup>	26,50
trat. x ano agrícola	3	72186,97	24062,32 <sup>*</sup>	3,58
Resíduo	12	80568,69	6714,06	
total	23	1696906,35		
média		686,15		
cv(%)		11,94		

GL., grau de liberdade; SQ., soma de quadrados; QM., quadrados médio.

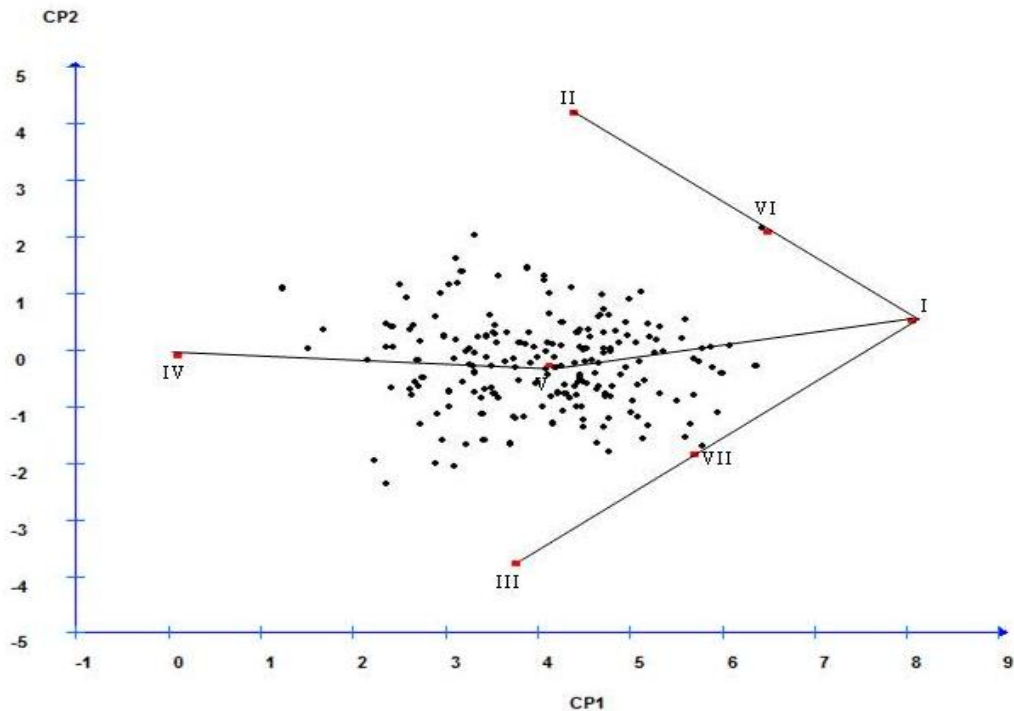
Em que: \* e \*\* Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

A figura 4 apresenta a dispersão gráfica dos dois primeiros componentes principais para as 192 plantas de pinhão-mansão avaliadas no experimento. Percebe-se com a análise conjunta da produção de grãos dos anos 2009 e 2010, que a maioria dos genótipos se concentrou no grupo V, com médio desempenho geral.

A formação da seta para a direita segundo Nascimento et al. (2009), possibilita verificar que os genótipos mais próximos à ponta da seta são mais produtivos e os mais próximos a base da seta, menos produtivo. Além disso, segundo o mesmo autor, na medida em que os genótipos se afastam do segmento de reta, para cima ou para baixo, eles podem ser classificados como adaptáveis a ambientes favoráveis e desfavoráveis, respectivamente.

Os resultados encontrados por Nascimento et al. (2010) mostraram que, a utilização do método em que genótipos tenham resposta diferenciada em algum ambiente evita a má interpretação do parâmetro de adaptabilidade.





**Figura 4.** Dispersão gráfica dos dois primeiros componentes principais das 192 plantas de pinhão-mansó, para o caractere produção de grãos anual (PGA), com base na análise conjunta dos anos agrícolas 2009 e 2010. Os pontos numerados em algarismo romanos representam: I (máximo desempenho geral); II (máximo desempenho específico ao ano agrícola favorável); III (máximo desempenho específico ao ano agrícola desfavorável); IV (mínimo desempenho); V (médio do desempenho geral); VI (médio desempenho específico ao ano agrícola favorável); VII (médio desempenho específico ao ano agrícola desfavorável). CP1, componente principal 1; CP2, componente principal 2.

O desempenho dos genótipos durante os dois anos foi moderado, conforme mostra a classificação (Tabela 11) em relação ao método centroide original, corroborando com a dispersão gráfica (Figura 4). Das 192 plantas de pinhão-mansó, sete foram classificados com o máximo desempenho ao ano agrícola desfavorável (ideótipo III), quatro com mínimo desempenho (ideótipo IV), 159 com médio desempenho geral (ideótipo V), 01 com médio desempenho específico ao ano agrícola favorável (ideótipo VI) e 21 com médio desempenho específico ao ano agrícola desfavorável.

**Tabela 11.** Classificação dos genótipos em um dos sete grupos caracterizados pelos métodos centroides e a probabilidade (Prob.) associada à sua classificação.

Planta	Média	Class.	Prob.	Planta	Média	Class.	Prob.	Planta	Média	Class.	Prob.	Planta	Média	Class.	Prob.
25	389,67	III	0,32	19	644,78	V	0,31	52	966,55	V	0,24	80	650,97	V	0,58
43	249,97	III	0,32	20	872,55	V	0,29	53	733,24	V	0,6	81	771,06	V	0,46
90	438,99	III	0,24	21	694,26	V	0,62	55	908,72	V	0,26	82	780,81	V	0,45
129	401,16	III	0,25	22	857,97	V	0,27	56	899,96	V	0,28	83	654,22	V	0,46
136	359,8	III	0,32	23	691,23	V	0,55	57	736,13	V	0,58	84	630,14	V	0,63
145	244,9	III	0,38	24	608,73	V	0,55	58	847,18	V	0,33	85	821,11	V	0,37
157	379,01	III	0,23	26	830,8	V	0,33	60	843,3	V	0,29	86	921,4	V	0,24
36	287,01	IV	0,23	27	730,76	V	0,64	61	643,71	V	0,54	87	852,92	V	0,3
111	369,7	IV	0,22	28	781,68	V	0,28	62	580,78	V	0,48	88	873,99	V	0,24
153	313,02	IV	0,24	29	613,14	V	0,48	63	713,05	V	0,58	89	647,13	V	0,55
165	259,24	IV	0,3	31	969,47	V	0,22	64	527,68	V	0,41	91	739,25	V	0,61
1	712,35	V	0,77	32	734,87	V	0,54	65	670,86	V	0,69	92	574,33	V	0,39
3	767,69	V	0,46	33	540,19	V	0,35	66	780,01	V	0,44	93	750,81	V	0,38
4	848,37	V	0,34	34	660,79	V	0,67	67	810,87	V	0,4	94	640,63	V	0,48
5	862,05	V	0,32	35	552,47	V	0,35	68	523,45	V	0,24	95	684,78	V	0,7
6	860,12	V	0,28	38	830,98	V	0,36	69	735,26	V	0,63	96	509,21	V	0,33
7	883,1	V	0,27	39	918,6	V	0,27	70	697,84	V	0,87	97	721,79	V	0,58
8	676,24	V	0,86	40	562,05	V	0,3	71	756,9	V	0,5	99	419,4	V	0,25
9	779,91	V	0,45	41	581,85	V	0,32	72	949,39	V	0,2	100	397,14	V	0,23
11	996,48	V	0,19	45	830,21	V	0,37	73	775,95	V	0,47	101	420,89	V	0,25
12	918,49	V	0,22	46	764,14	V	0,52	75	661,21	V	0,39	102	619,56	V	0,59
13	759,56	V	0,46	47	806,06	V	0,4	76	823,73	V	0,36	103	625,51	V	0,57
14	705,06	V	0,52	48	788,65	V	0,38	77	996,39	V	0,21	104	477,76	V	0,34
15	760,92	V	0,52	49	801,11	V	0,37	79	766,2	V	0,43	105	619,59	V	0,37

Planta	Média	Class.	Prob.	Planta	Média	Class.	Prob.	Planta	Média	Class.	Prob.	Planta	Média	Class.	Prob.
106	557,11	V	0,34	135	700,08	V	0,71	166	473,83	V	0,34	191	635,57	V	0,53
107	541,01	V	0,4	137	765,29	V	0,39	167	706,94	V	0,25	192	560,79	V	0,45
108	439,63	V	0,27	138	611,18	V	0,55	168	420,32	V	0,29	142	1249,39	VI	0,96
109	590,2	V	0,51	139	803,62	V	0,36	169	524,99	V	0,31	2	881,3	VII	0,5
110	567,14	V	0,46	141	507,81	V	0,35	170	443,38	V	0,32	10	946,15	VII	0,36
112	520,14	V	0,38	143	686,32	V	0,52	171	562,92	V	0,3	16	990,34	VII	0,24
113	749,41	V	0,51	144	840,45	V	0,3	172	454,19	V	0,25	17	776,93	VII	0,54
114	825,15	V	0,26	146	437,22	V	0,31	173	919,32	V	0,26	18	1047,21	VII	0,19
115	789,67	V	0,27	147	472,23	V	0,28	174	701,51	V	0,43	30	1072,83	VII	0,2
116	701,69	V	0,32	148	451,76	V	0,3	175	627,67	V	0,33	37	717,21	VII	0,37
117	810,87	V	0,38	149	674,68	V	0,72	176	542,76	V	0,38	42	883,11	VII	0,37
118	1012	V	0,2	150	579,92	V	0,46	177	357,96	V	0,23	44	923,75	VII	0,32
119	709,32	V	0,74	151	519,19	V	0,32	178	766,74	V	0,27	50	801,66	VII	0,37
120	878,62	V	0,29	152	552,34	V	0,44	179	781,45	V	0,39	51	801,06	VII	0,54
121	722,24	V	0,63	154	406,52	V	0,28	180	506,64	V	0,36	54	1000,8	VII	0,24
122	712,16	V	0,61	155	686,48	V	0,36	181	626,27	V	0,38	59	859,65	VII	0,35
124	689,71	V	0,42	156	625,51	V	0,56	182	478,26	V	0,22	74	879,42	VII	0,69
125	942,88	V	0,23	158	546,72	V	0,43	183	554,69	V	0,36	78	735,85	VII	0,37
127	690,62	V	0,49	159	402,69	V	0,24	184	608,8	V	0,55	98	685,31	VII	0,34
128	679,73	V	0,33	160	545,26	V	0,4	185	658,54	V	0,77	123	696,66	VII	0,36
130	673,78	V	0,51	161	639,61	V	0,34	186	622,44	V	0,57	126	792,26	VII	0,46
131	505,95	V	0,27	162	599,32	V	0,38	187	775,09	V	0,31	132	972,12	VII	0,24
133	784,81	V	0,45	163	536,98	V	0,41	189	678,64	V	0,83	140	786,3	VII	0,42
134	424,22	V	0,23	164	486,16	V	0,36	190	755,8	V	0,45	188	857,95	VII	0,67

## 5.4 Diversidade genética

Estudos de divergência genética realizados com marcadores moleculares têm confirmado estreita base genética dos acessos em germoplasma do Brasil, Ásia e África, excetuando-se os acessos do México e El Salvador (SUN et al., 2008; BASHA et al., 2009; ROSADO et al., 2010).

Provavelmente o número reduzido de introduções iniciais de germoplasma nos países onde se encontram árvores de pinhão-manso esteja provocando baixa divergência genética entre materiais genéticos (BASHA et al., 2009).

No entanto, existem diferenças genéticas em nível de indivíduos ou acesso. Na Índia Ginwal et al. (2004) verificaram existir diferenças genéticas entre dez acessos de pinhão-manso e Ginwal et al. (2005) encontraram variabilidade genética em relação à morfologia da semente, germinação e característica de crescimento de mudas.

No presente trabalho, pelo agrupamento de Tocher, formaram 28 grupos mutuamente exclusivos entre si, dentro dos quais encontram-se distribuídas as 192 plantas de pinhão-manso avaliadas no experimento (Tabela 12). As árvores foram codificadas dentro de suas respectivas procedências, sendo procedência 1 (de 1 a 48), 2 (de 49 a 96); 3 (de 97 a 144) e 4 (de 145 a 192).

Não houve um agrupamento cujos indivíduos foram separados conforme sua origem geográfica, situação também verificada por meio da análise gráfica da projeção bidimensional (Figura 5). O agrupamento bidimensional foi eficiente, pois observou-se alta correlação ( $r = 0,95$ ) entre as distâncias originais – das distâncias euclidianas médias entre os pares de caracteres – e observadas – da projeção 2D –, com uma baixa distorção (10%) e reduzido estresse (17%).

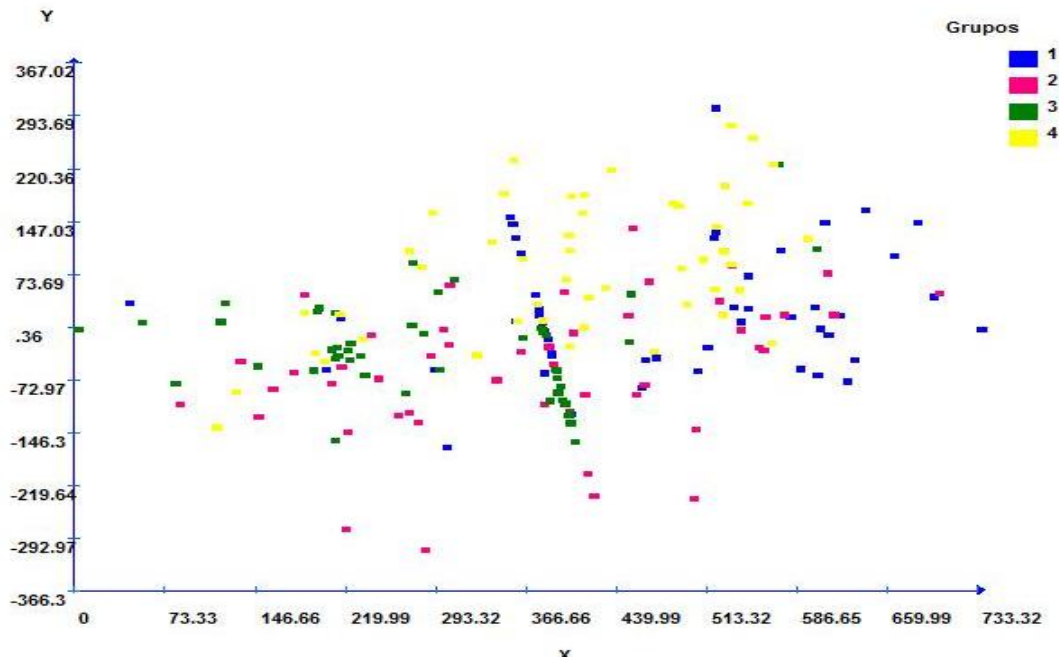
**Tabela 12.** Agrupamento pelo método de Tocher de 192 árvores de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) cujas sementes foram procedentes dos estados de Rondônia, Minas Gérias e São Paulo, plantadas em Porto Velho – RO. Uso da distância euclidiana média cujas informações dos indivíduos foram os seus efeitos aditivos.

Grupo	Árvore <sup>#</sup>
1	48 50 124 97 127 115 133 105 112 136 139 117 62 66 79 28 37 14 57 149 6 78 140 24 99 104 86 107 36 179 16 147 172 27 64 7 151 108 181 129
2	34 42 15 69 52 180 60 17 85 45 3 21 26 54 31 9 2 23 22
3	5 63 19 25
4	59 84 83 142 90 68 73 118 160 119 171 56 131 176 67 49 177
5	141 188 154 165 145 190 10
6	135 191 44 4 71 39 18
7	8 91 88 1 13 30 174 51
8	143 144 123 138 101 122 120 80 40 137 61 33 128 114 134
9	102 157 158 87 109 111 76 130 96 121 113 183 175
10	146 161 169 94 11 192 103 58 65 159 166 43
11	12 46 29 178 164 156
12	163 168 148 162 72 152 41 187
13	92 185 32 189 184 77
14	55 106 82
15	74 81 116
16	70 150
17	110 125 98 38 132
18	95 126 182
19	155 186 167
20	153 170
21	53 89
22	35
23	75
24	100
24	100
25	93
26	20
27	47
28	173

<sup>#</sup>Identificação das árvores de acordo com a procedência: Rondônia-1: código de 1 a 48; Rondônia-2: código de 49 a 96; Minas Gerais: código de 97 a 144 e; São Paulo: código 145 a 192.

Para Rosado et al. (2010) a formação de grupos divergentes em *J. curcas* com acessos do Brasil não está relacionada com origem geográfica e que acessos de diferentes regiões podem ter a mesma origem genética. Basha et al. (2007) avaliando genótipos de diferentes regiões da Índia, a partir de marcadores RAPD e ISSR, verificaram que dos 43 genótipos, 83% foram agrupados em dois grandes grupos, indicando que também na Índia a diferença

geográfica não é sinônimo de divergência genética. Freitas et al. (2011) chegaram a mesma conclusão, uma vez que acessos com origens continentais diferentes formaram um mesmo grupo.



**Figura 5.** Projeção bidimensional de 192 árvores de pinhão-manso 192 árvores de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) cujas sementes foram procedentes dos estados de Rondônia, Minas Gerias e São Paulo, plantadas em Porto Velho – RO. Uso da distância euclidiana média cujas informações dos indivíduos foram os seus efeitos aditivos. Grupo 1: procedência-1; Grupo 2: procedência -2; Grupo 3: procedência - 3; Grupo 4: procedência - 4.

Embora a literatura relate estreita base genética na espécie *J. curcas*, os resultados (Tabela 12 e Figura 5) demonstraram a existência de genótipos divergentes e, por conseguinte, variabilidade a ser explorada no programa de melhoramento em nível de indivíduos. A quantificação da diversidade genética dos acessos coletados em todo território nacional, indicam que as plantas de pinhão-manso presentes no Brasil estão se reproduzindo preferencialmente por autogamia, facilitada pela ocorrência de plantas isoladas e a forma como a planta foi introduzida no país (ROSADO et al., 2010). Segundo Freitas et al. (2011)

evidências indicam que o centro de origem da *Jatropha* é a América Central, especificamente o México. Do México, acessos foram introduzidos em outros países Latino Americanos (incluindo o Brasil) e mais tarde África e Ásia.

## 6. CONCLUSÕES

Os componentes de variância e as estimativas de parâmetros genéticos para alguns componentes de produção e caracteres vegetativos, durante os dois primeiros anos de desenvolvimento do pinhão-manso, mostraram existir variabilidade genética satisfatória e, por conseguinte, a possibilidade de se obter ganhos genéticos com a seleção de indivíduos no programa de melhoramento da EMBRAPA-RO.

No geral, os caracteres produção de grãos, número de cachos, número de ramos, altura, projeção da copa e volume da copa, apresentaram estimativas moderadas a altas de herdabilidade, tanto em sentido amplo quanto restrito.

A inferência sobre os parâmetros genéticos e componentes de variância do número de frutos por cacho e índice de maturação indicou serem estes caracteres pouco informativos e úteis nos estudos genéticos quantitativos.

Para os caracteres número de cachos na colheita do meio ano, número de ramos, altura, projeção da copa no maior espaçamento e volume de copa, um número igual ou inferior a três medições anuais garantem bons valores aos coeficientes de determinação genotípica, herdabilidade em nível de progênie e acurácia. Já para a produção de grãos e número de cachos na colheita do final do ano, exigiram maior número de mensurações ( $m_i > 4$ ).

Elevadas correlações ( $r$ ) genotípicas e fenotípicas foram obtidas entre si para a produção de grãos, seus componentes e aqueles caracteres associados à arquitetura da planta, com  $r \geq 0,75$ .

Ganhos genéticos preditos para a produção de grãos do primeiro e segundo ano de plantio foram respectivamente superiores a 120 e 20%, considerando a seleção dos dez

melhores indivíduos. A maioria das plantas exibiram médio desempenho (adaptabilidade) geral, conforme indicou o método do centroide.

Ao se considerar as informações dos efeitos aditivos individuais, a diversidade genética das árvores de pinhão-manso não esteve necessariamente associada a sua origem geográfica, pois plantas de diferentes procedências formaram grupos. Em nível de indivíduos, formou-se pelo método de Tocher 28 grupos divergentes geneticamente.



## REFERÊNCIAS

- ABREU, F.B.; RESENDE, M.D.V.; ANSELMO, J.L.; SATURNINO, H.M.; BRENHA, J.A.M.; FREITAS, F.B. Variabilidade genética entre acessos de pinhão-manso na fase juvenil. **Magistra**, v.21, n.1, p.36-40, 2009.
- ACHTEN W.M.J. VERCHOT, L.; FRANKEN, Y.J.; MATHIJS, E.; SINGH, V.P.; AERTS, R.; MUYS, B. Jatropha biodiesel production and use. **Biomass and Bioenergy**, v.32, n.12, p.1063-1084, 2008.
- AKINTAYO, E.T. Characteristics and composition of *Parkia biglobbossa* and *Jatropha curcas* oils and cakes. **Bioresource Technology**, v.92, n.3, p.307-310, 2004.
- ARRUDA, F.P.; BELTRÃO, N.E.M.; ANDRADE, A.P.; PEREIRA, W.E.; SEVERINO, L.S. Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas*) como alternativa para o semi-árido nordestino. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, v.8, n.1, p.789-799, 2004.
- BASHA, S. D.; SUJATHA, M. Inter and intra-population variability of *Jatropha curcas* (L.) characterized by RAPD and ISSR markers and development of population-specific SCAR markers. **Euphytica, Wageningen**, v.156, n.3, p. 375-386, 2007.
- BASHA, S.D.; FRANCIS, G.; MAKKAR, H.P.S.; BECKER, K.; SUJATHA, M. A comparative study of biochemical traits and molecular markers for assessment of genetic relationships between *Jatropha curcas* L. germplasm from different countries. **Plant Science**, v.176, n.6, p.812-823, 2009.
- BOLIGON, F.; SANTOS, R.F.; BARICCATTI, R.A.; LUNELLI, I.E.; BORSOI, A.; VIANA, O.H. Cultura do pinhão-manso, aspectos tecnológicos e econômicos para a produção de biodiesel. **Cascavel**, v.4, n.1, p.115-131, 2011.
- BRASIL. **Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. Departamento Nacional de Meteorologia. Normas climatológicas: 1961-1990.** Brasília, DF, 1992, 84 p.
- BRASIL. **Instrução Normativa N<sup>o</sup> 4, de 14 de janeiro de 2008.** Lex: Diário Oficial da União, Brasília, DF, Seção 1, p. 4, 2008.
- CARVALHO, B.C.L. OLIVEIRA, E.A.S.; LEITE, V.M.; DOURADO, V.V. **Informações técnicas para o cultivo do pinhão-manso no Estado da Bahia.** Salvador: EBDA, 79p, 2009.

CARVALHO, M.; VILELA, P.S.; OLIVEIRA, R.O. **Biodiesel em Minas Gerais: riscos e oportunidades**. Belo Horizonte: FAEMG, 2007. 44p.

CEDILLO, D.S.O. BARROS, W.S.; FERREIRA, F.M.; DIAS, L.A.S.; ROCHA, R.B.; CRUZ, C.D. Correlation and repeatability in progenies of African oil palm. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.30, n.2, p.197-201, 2008.

CHIA, G.S.; LOPES, R.; CUNHA, R.N.V.; ROCHA, R.N.C.; LOPES, M.T.G. Repetibilidade da produção de cachos de híbridos interespecíficos entre o caiaué e o dendezeiro. **Acta Amazonica**, v.39, n. 2, p.249-254, 2009.

COSTA, R.B.; RESENDE, M.D.V.; ARAÚJO, A.J.; GONÇALVES, P.S. BORTOLETTO, N. Seleção combinada univariada e multivariada aplicada ao melhoramento genético da seringueira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n.2, p.381-388, 2000.

Cruz, C.D. **Princípios de genética quantitativa**. Editora UFV. Viçosa, MG: 2005. 394p.

Cruz, C.D. **Programa Genes: Diversidade Genética**. Editora UFV. Viçosa, MG: 2008. 278p.

CRUZ, C.D. e CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Editora UFV. Viçosa, MG: 2003. 585p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Editora UFV. Viçosa, MG: 2001. 390 p.

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

DEVAPPA, R.K.; SWAMYLINGAPPA, B. Biochemical and nutritional evaluation of *Jatropha* protein isolate prepared by steam injection heating for reduction of toxic and antinutritional factors. **Journal of the Science of Food and agriculture**, v.88, n.5, p.911-919, 2008.

FALCONER, D.S. **Introdução à genética quantitativa**. Editora UFV. Viçosa, MG: 1987. 279p.

FINLAY, K.W; WILKINSON, G.N. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. **Journal of Agricultural Research**. v.14, n.6, p.742-754, 1963.

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

GINWAL, H.S.; RAWAT, P.S.; SRIVASTAVA, R.L. Seed source variation in growth performance and oil yield of *Jatropha curcas* Linn. in Central India. **Silvae Genetica**, v.53, n. 4, p.186-192, 2004.

GINWAL, H.S.; PHARTHYAL, S.S.; RAWAT, P.S.; SRIVASTAVA, R.L. Seed source variation in morphology, germination and seedling growth of *Jatropha curcas* Linn. in Central India. **Silvae Genetica**, v.54, n. 2, p.76-80, 2005.

GONÇALVES, P. de S.; FONTES, J.R.A. Domesticação e Melhoramento da Seringueira. In: BORÉM, Aluizio; LOPES, Maria Tereza Gomes; CLEMENT, Charles Roland. **Domesticação e melhoramento: espécies amazônicas**. Viçosa - Mg: Ufv, 2009. p. 395-424.

GLOBO RURAL. TAM faz voo experimental com bioquerosene de aviação. Disponível em: << <http://revistagloborural.globo.com/Revista/Common/0,,EMI189573-18071,00-tam+faz+voo+experimental+com+bioquerosene+de+aviacao.html>>>. Acesso em 10 de junho de 2011.

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

JUHÁSZ, A.C.P. PIMENTA, S.; SOARES, B.O.; MORAIS, D.L.B.; RABELLO, H.O. Biologia floral e polinização artificial de pinhão-mansão no norte de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.9, p.1073-1077, 2009.

LAVIOLA, B.G. **Recursos genéticos e melhoramento do pinhão-mansão**. 2009. Disponível em: <[www.cnpae.embrapa.br/...pinhao-manso/recursos-geneticos-e-melhoramento-brunolaviola.pdf](http://www.cnpae.embrapa.br/...pinhao-manso/recursos-geneticos-e-melhoramento-brunolaviola.pdf)>. Acesso em: 20 jul. 2010.

LAVIOLA, B.G.; ROSADO, T.B.; BHERING, L.L.; KOBAYASHI, A.K.; RESENDE, M.D.V. Genetic parameters and variability in physic nut accessions during early developmental stages. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.10, p.1117-1123, 2010.

LOPES, R.; BRUCKNER, C.H.; CRUZ, C.D.; LOPES, M.T.G.; FREITAS, G.B. Repetibilidade de características do fruto de aceroleira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.3, p.507-513, 2001.

MARQUES, D.A.; FERRARI, R.A. O papel das novas biotecnologias no melhoramento genético do pinhão-manso. **Biológico**, v.70, n.2, p.65-67, 2008.

MARTINS, I.S.; MARTINS, R.C.C; PINHO, D.S. Alternativas de índices de seleção em uma população de *Eucalyptus grandis* Hill ex Malden. **Cerne**, v.12, n.3, p.287-291, 2006.

MOURAD, A.L. **Principais culturas para a obtenção de óleos vegetais combustíveis no Brasil**. 2006. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo>. Acesso em: 10 jun. 2010.

NASCIMENTO, M.; CRUZ, C.D.; CAMPANA, A.C.M.; TOMAZ, R.S.; SALGADO, C.C.; FERREIRA, R.P. Alteração no método centroide de avaliação da adaptabilidade genotípica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.3, p.263-269, 2009.

NASCIMENTO, M. FERREIRA, A.; FERRÃO, R.G.; CAMPANA, A.C.M.; BHERING, L.L.; CRUZ, C.D.; FERRÃO, M.A.G.; FONSECA, A.F.A. Adaptabilidade e estabilidade via regressão não paramétrica em genótipos de café. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, v.45, n.1, p.41-48, 2010.

OLIVEIRA, J.S.; LEITE, P.M.; SOUZA, L.B.; MELLO, V.M.; SILVA, E.C.; RUBIM, J.C.; MENEGHETTI, S.M.P.; SUAREZ, P.A.Z. Characteristics and composition of *Jatropha gossypifolia* and *Jatropha curcas* L. oil and application for biodiesel production. **Biomass and Bioenergy**, v.33, n.3, p.449-453, 2009.

OPENSHAW, K. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. **Biomass and Bioenergy**, v.19, n.1, p.1-15, 2000.

PAIVA, J.R.; CORDEIRO, E.R.; CORRÊA, M.C.M.; RESENDE, M.D.V. Acerola plant selection and breeding value prediction in second selection cycle progenies. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.7, n.2, p.125-132, 2007.

QUEIRÓZ, M.A. Melhoramento genético no Brasil - realizações e perspectivas. In: NASS, Luciano Lourenço et al. **Recursos genéticos e melhoramento - plantas**. Rondonópolis: Fundação Mt., 2001. p.1-28.

RESENDE, M.D.V. Melhoramento de espécies perenes. In: NASS, L.L. et al. **Recursos genéticos e melhoramento - plantas**. Rondonópolis: Fundação Mt, 2001. p. 357-422.

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

RESENDE, M.D.V. **Matemática estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo-PR: Embrapa Florestas, 2007. 362 p.

RESENDE, M.D.V. **SELEGEN-REML/BLUP - Sistema Estatístico e Seleção Genética Computadorizada via Modelos Lineares Mistos**. Colombo-PR: Embrapa Florestas, 2007. 359 p.

RESENDE, M. D. V. de; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.37, n.3, p.182-194, 2007.

RIBEIRO, M.R.; DIAS, L.A.S.; BERGER, P.G.; DIAS, D.C.F.S. **Agroenergia na mitigação das mudanças climáticas globais, na segurança energética e na promoção social**. Viçosa, MG: Suprema, 2011. 201p.

ROCHA, R. B.; ABAD, J.I.M.; ARAÚJO, E.F.; CRUZ, C.D. Avaliação do método centroide para estudo de adaptabilidade ao ambiente de clones de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, v.15, n.3, p. 255-266, 2005.

ROSADO, T.B. et al. **Avaliação da diversidade genética do banco de germoplasma de pinhão-mansão por marcadores moleculares**. 2009. Disponível em: [www.cnepae.embrapa.br/publicacoes-para-download/pdf/download](http://www.cnepae.embrapa.br/publicacoes-para-download/pdf/download). Acesso em: 22 jul. 2010.

ROSADO, T. B. LAVIOLA, B.G.; PAPPAS, M.C.R.; BHERING, L.L.; QUIRINO, B.F.; GRATTAPAGLIA, D. Molecular markers reveal limited genetic diversity in a large germplasm collection of the biofuel crop *Jatropha curcas* L. in Brazil. **Crop Science**, v.50, n. 6, p.2372-2382, 2010.

SANTOS, C. A. F.; DRUMOND, M.A.; RODRIGUES, M.A.; EVANGELISTA, M.R.V. Genetic similarity of *Jatropha curcas* accessions based on AFLP markes. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.10, n.4, p.364-369, 2010.

SINGH, R. A.; MUNISH, K.; HAIDER, E. Synergistic cropping of summer groundnut with *Jatropha curcas*. A new two-tier cropping system for Uttar Pradesh. **ICRISAT journal**, v.5, n.1, p.1-2, 2007.

SLUSZ, T.; MACHADO, J. A.D. **Características das potenciais culturas matérias-primas do biodiesel e sua adoção pela agricultura familiar.** Porto Alegre, 2006. 20 p.

SMIDERLE, O.J.; KROETZ, V.J. **Produção de mudas de pinhão-manso propagadas por estaquia.** Comunicado Técnico, n.22, Boa Vista - RR: Embrapa, 2008.

SUN, Q. B.; LI, L. F.; LI, Y.; WU, G. J.; GE, X. J. SSR and AFLP markers reveal low genetic diversity in the biofuel plant: *Jatropha curcas* in China. **Crop Science**, v.48, n.5, p.1865-1871, 2008.

SPINELLI, V. M.; ROCHA, R.B.; RAMALHO, A.R.; MARCOLAN, A.L.; VIEIRA JÚNIOR, J.R.; FERNANDES, C.F.; MILITÃO, J.S.L.T.; DIAS, L.A.S. Componentes primários e secundários do rendimento de óleo de pinhão-manso. **Ciência Rural**, v.40, n.8, p.1752-1758, 2010.

TOMINAGA, N.; KAKIDA, J.; YASUDA, E.K. **Cultivo de Pinhão-manso para a produção de biodiesel.** Viçosa: CPT, 2007. 220 p.