

UFRRJ
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

DISSERTAÇÃO

**Ideótipo preliminar de grãos e diversidade genética em pinhão-manso
(*Jatropha curcas* L.) com base no rendimento e qualidade de óleo e na
morfologia de sementes estudadas a partir da análise digital de imagens de
raio-X**

Milena Silva Pinto

2015



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**IDEÓTIPO PRELIMINAR DE GRÃOS E DIVERSIDADE GENÉTICA
EM PINHÃO-MANSO (*Jatropha curcas* L.) COM BASE NO
RENDIMENTO E QUALIDADE DE ÓLEO E NA MORFOLOGIA DE
SEMENTES ESTUDADAS A PARTIR DA ANÁLISE DIGITAL DE
IMAGENS DE RAIOS-X**

MILENA SILVA PINTO

Sob a Orientação do Professor
Pedro Corrêa Damasceno Junior

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Fitotecnia**, no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Área de Concentração em Produção Vegetal.

Seropédica, RJ

Agosto de 2015

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

P659i Pinto, Milena Silva , 1980-
Ideótipo preliminar de grãos e diversidade genética em pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) com base no rendimento e qualidade de óleo e na morfologia de sementes estudadas a partir da análise digital de imagens de raio-X / Milena Silva Pinto. - Sidrolândia, 2015.
42 f.

Orientador: Pedro Corrêa Damasceno Júnior.
Dissertação(Mestrado). -- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Pós-Graduação em Fitotecnia, 2015.

1. Biodiesel. 2. Pinhão-manso . 3. Análise de imagens. 4. Melhoramento genético. 5. Diversidade. I. Corrêa Damasceno Júnior, Pedro, 1973-, orient. II Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Pós Graduação em Fitotecnia III. Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA



**HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 104 / 2023 - DeptFITO
(12.28.01.00.00.00.32)**

Nº do Protocolo: 23083.080550/2023-21

Seropédica-RJ, 07 de dezembro de 2023.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

MILENA SILVA PINTO

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Fitotecnia** no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, área de Concentração em Produção Vegetal.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 14/08/2015

Pedro Corrêa Damasceno Júnior. D.Sc. Genética e Melhoramento de Plantas. UFRRJ
(Orientador)

Marco André Alves de Souza. D.Sc. Bioquímica. UFRRJ

Maria Luíza de Araújo. D.Sc. Agronomia (Melhoramento Vegetal). PESAGRO/RJ

(Assinado digitalmente em 09/12/2023 13:45)

MARCO ANDRE ALVES DE SOUZA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DBQ (11.39.00.24)
Matrícula: 2582213

(Assinado digitalmente em 07/12/2023 14:00)

PEDRO CORREA DAMASCENO JUNIOR
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DATS (11.39.00.35)
Matrícula: 1712769

(Assinado digitalmente em 15/12/2023 10:13)

MARIA LUIZA DE ARAUJO
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 582.776.847-20

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrj.br/public/documentos/index.jsp>
informando seu número: **104**, ano: **2023**, tipo: **HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE**
MESTRADO, data de emissão: **07/12/2023** e o código de verificação: **15f3a0eea6**

“Cada sonho que você deixa para trás é um pedaço do seu futuro que deixa de existir”

(Steve Jobs)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro a Deus. Ele sempre esteve ao meu lado e mesmo nas horas difíceis, em que pensei em desistir, Ele me deu forças para continuar.

Agradeço aos meus pais, por me terem dado educação, valores e caráter. Ao meu pai (*in memoriam*), onde quer que esteja, nunca deixou de me amar e olhar por mim. Pai, meu amor eterno. À minha mãe, amor incondicional. Mãe, por você hoje estou aqui, te amo infinitamente. À minha querida irmã que sempre torceu e se orgulhou de mim, te amo irmã.

Meu muitíssimo obrigado ao meu orientador e professor, Doutor Pedro Corrêa Damasceno Júnior. Obrigado por acreditar em mim e aceitar-me como orientanda, foi um enorme prazer trabalhar ao seu lado, agradeço toda sua dedicação e paciência. Muito obrigada à minha querida professora, Doutora Sonia Regina de Souza (*in memoriam*) que me ensinou a amar a pesquisa acadêmica, um exemplo que sempre levarei comigo, como pessoa e como profissional. Agradeço à professora, Doutora Cristina Maria Barra pelas sugestões pertinentes durante a construção final desse trabalho, minha amiga tão especial, que esteve ao meu lado nas horas mais difíceis durante toda a minha trajetória acadêmica, que a distância não nos separe nunca, te amo para sempre.

A todos os funcionários, professores e alunos do Departamento de Pós-graduação em Fitotecnia (UFRRJ), sem a colaboração de vocês nada disso seria possível.

E, por último, mas não menos importante, ao meu amor Marcos Antônio Lira, que esteve sempre ao meu lado, me apoiando, entendendo e acreditando no meu potencial. Te amo muito.

“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001” (**PORTARIA Nº 206, DE 4 DE SETEMBRO DE 2018 DA CAPES**)

RESUMO

PINTO, Milena Silva. **Ideótipo preliminar de grãos e diversidade genética em pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) com base no rendimento e qualidade de óleo e na morfologia de sementes estudadas a partir da análise digital de imagens de raio-X.** 2015. 42p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.

Com a crescente demanda por novas fontes de energia menos poluidoras que os derivados de petróleo, menores custos de produção e fontes de energia renováveis, a espécie *Jatropha curcas* L. conhecida como pinhão-mansão, vem apresentando grande destaque em pesquisas devido ao potencial na produção de óleo. O destaque do pinhão-mansão como uma cultura promissora para atender ao programa nacional de produção de biodiesel, deve-se, principalmente, ao rendimento de óleo, que por sua vez, depende essencialmente do teor de óleo das sementes e do volume de matéria prima utilizado na extração. Por isso, o conhecimento do controle genético dos componentes de produção é fundamental para o estabelecimento de estratégias eficientes de seleção e para o desenvolvimento de variedades comerciais. Em relação aos componentes de produção dessa oleaginosa, o rendimento de óleo depende da expressão de características vegetativas, tais como, a produção de grãos, o peso, tamanho e o teor de óleo nos grãos. Portanto, este trabalho objetivou conhecer a diversidade genética entre acessos de pinhão-mansão quanto as características relacionadas ao teor e qualidade de óleo e morfologia de sementes e estabelecer um ideótipo preliminar de grãos, com variáveis estimadas a partir de análise digital em imagens provenientes de raio-X. Para tal, colheu-se sementes em 18 acessos de pinhão-mansão da Coleção de Germoplasma da UFRRJ em três épocas de colheita. As características analisadas foram: comprimento da semente (COS), largura da semente (LAS), relação entre o comprimento e a largura (RCL), área da semente (ARS), área do endosperma (ARE), porcentagem de endosperma na semente (POAes), perímetro da semente (PESe), circularidade da semente (CIS), peso da semente em gramas (PES), teor de óleo em porcentagem base úmida (TOBu), teor de óleo em porcentagem base seca (TOBs), ácidos graxos saturados (AGSat), ácidos graxos monoinsaturados (AGMon) e ácidos graxos polinsaturados (AGPol). As médias obtidas referentes às variáveis morfológicas das sementes, rendimento e teor de óleo foram comparadas por intervalos de confiança e comparadas duas a duas, via teste “t” ao nível de 5% de probabilidade, foram obtidas as correlações, estimou-se a distância Euclidiana e o agrupamento via UPGMA e Tocher, realizou-se análise de dispersão via componentes principais e o índice de diversidade via ANOSIM. Com base nos resultados observa-se que o aumento da área da semente não necessariamente proporciona aumento na área do endosperma, consequentemente, o aumento do teor e qualidade de óleo na semente. De acordo com os resultados das análises de divergência genética, verifica-se que os genótipos 345 e 908 se mostraram promissores para programas de melhoramento com a espécie.

Palavras-chave: Biodiesel, diversidade genética, análise de imagens.

ABSTRACT

PINTO, Milena Silva. **Preliminary ideotype grains and genetic diversity in *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) based on the yield and quality of oil and morphology of seeds studied from the digital analysis of X-ray images.** 2015. 42p. Dissertation (Master Science in Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.

The increasing demand for new sources of less polluting energy than petroleum products, lower production costs and renewable energy sources, *Jatropha curcas* L. species known as physic nut had been remarkable in research because of the potential production oil. The highlight of physic nut as a culture to meet the national program biodiesel production, is due mainly to the performance of oil, which in turn depends essentially on the oil content of the seeds and the volume of raw material used the extraction. Therefore, knowledge of the genetic control of production components is essential for establishing effective strategies selection and the development of commercial varieties. Regarding the production of components of this oil crop, the yield of oil depends on the expression of vegetative characteristics such as grain production, the grain weight, the size and oil content in grain. Therefore, this study aimed to know the genetic diversity among accessions of *Jatropha* as the characteristics related to the content and quality of oil and morphology of seeds and establish a preliminary ideotype grains with variable estimated from analysis of digital images from ray -X. For this, picked up seeds in 18 hits of physic nut of Germplasm Collection of UFRRJ in three harvest seasons. The following characteristics were analyzed: seed length (COS), seed width (LAS), the relationship between the length and the width (RCL), seed area (ARS), endosperm area (ARE), percentage of the seed endosperm (POAes), seed perimeter (PESe), seed circularity (CIS), seed weight in grams (PES), oil content in percent damp base (TOBu), oil content in percentage dry basis (TOBs), fatty acids saturated (AGSat), monounsaturated fatty acids (AGMon) and polyunsaturated fatty acids (AGPol). The averages related to the morphologic parameters of seed yield and oil content were compared by confidence intervals and compared in pairs via Test "t" at 5% probability, correlations were obtained, it estimated the Euclidean distance and clusters via UPGMA and Tocher, there was analysis of dispersion via major components and the diversity index via ANOSIM. Based on the results it was observed that the increase in seed area does not necessarily provide increased endosperm area, thus increasing the content and quality of oil in the seed. According to the results of genetic divergence analysis, it appears that the genotypes 345 and 908 showed promise for breeding programs with the species.

Keywords: Biodiesel, genetic diversity, image analysis

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de uma reação de transesterificação de triglicerídeos com um álcool.....	4
Figura 2. Molécula do éster de forbol.....	9
Figura 3. Lâminas de raio-X de sementes colhidas no ano de 2013 em três períodos diferentes, primeira quinzena de janeiro (porção superior da lâmina), segunda quinzena de janeiro (porção mediana da lâmina) e primeira quinzena de fevereiro, (porção inferior da lâmina) em quatro acessos de pinhão-manso pertencentes à Coleção de Germoplasma do Departamento de Fitotecnia da UFRRJ	25
Figura 4. Dispersão entre 18 acessos de <i>Jatropha curcas</i> com base em características morfo-agronômicas e relacionadas ao teor e qualidade de óleo estimada por componentes principais	28
Figura 5. Dendrograma gerado a partir da distância Euclidiana combinada ao método de agrupamento UPGMA em 18 acessos de <i>Jatropha curcas</i> L. da Coleção de Germoplasma do Departamento de Fitotecnia da UFRRJ	29
Figura 6. “Boxplots” representando a diversidade genética obtida via algoritmo ANOSIM, utilizando-se a distância Euclideana e o método UPGMA, entre e dentro de acessos de pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.) pertencentes à Coleção de Germoplasmas do Departamento de Fitotecnia da UFRRJ	31
Figura 7. Lâminas de raio-X de sementes colhidas no ano de 2013 em três períodos diferentes, primeira quinzena de janeiro (porção superior da lâmina), segunda quinzena de janeiro (porção mediana da lâmina) e primeira quinzena de fevereiro, (porção inferior da lâmina) em quatro acessos de pinhão-manso pertencentes à Coleção de Germoplasma do Departamento de Fitotecnia da UFRRJ.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estatística descritiva de 14 variáveis relacionadas a morfologia de sementes e ao rendimento e qualidade de óleo em 18 acessos de pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.) pertencentes à Coleção de Germoplasmas de Pinhão-manso do Departamento de Fitotecnia da UFRRJ	19
Tabela 2. Coeficientes da correlação de Pearson entre 14 variáveis obtidas em 18 acessos de pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.) pertencentes a Coleção de Germoplasma do Departamento de Fitotecnia da UFRRJ	21
Tabela 3. Médias referentes a quatro variáveis relacionadas à morfologia de sementes (ARS, ARE e POAes) e teor de óleo (TOBs) mensuradas em 3 épocas de colheita, primeira e segunda quinzenas de janeiro e primeira quinzena de fevereiro de 2012, observadas em 18 acessos pertencentes à Coleção de Germoplasmas de Pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.) do Departamento de Fitotecnia da UFRRJ	24
Tabela 4. Estimção de autovalores com sua respectiva contribuição relativa, variância acumulada em cada autovalor e autovetores associados aos componentes principais obtidos a partir de 14 descritores relacionados a morfologia de sementes, rendimento e qualidade de óleo mensurados em em 18 acessos pertencentes à Coleção de Germoplasmas de Pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.) do Departamento de Fitotecnia da UFRRJ	27
Tabela 5. Grupos formados a partir do método de agrupamento de Tocher para a variabilidade genética observada em 18 acessos de <i>Jatropha curcas</i> L. da Coleção de Germoplasma do Departamento de Fitotecnia da UFRRJ	29
Tabela 6. Agrupamentos em comum formados a partir da Análise de Componentes Principais (ACP), método de agrupamento de Tocher e UPGMA, para a variabilidade genética observada em 18 acessos de <i>Jatropha curcas</i> L. da Coleção de Germoplasma do Departamento de Fitotecnia da UFRRJ	30

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Produção de Biodiesel B100 (milhões de barris) no Brasil, estimada a partir de janeiro de 2009 a dezembro de 2014	5
Quadro 2. Composição em ácidos graxos, teor de saturados, monoinsaturados e poli-insaturados do óleo de sementes de <i>Jatropha curcas</i> L	8
Quadro 3. Procedência, identificação e número de acessos por procedência dos 18 genótipos de <i>Jatropha curcas</i> L. da Coleção de Germoplasma do Departamento de Fitotecnia da UFRRJ.....	13
Quadro 4. Descritores morfológicos e respectivas metodologias utilizadas para a caracterização de 18 acessos de <i>Jatropha curcas</i> L. da Coleção de Germoplasma do Departamento de Fitotecnia da UFRRJ	14
Quadro 5. Descritores quanto ao teor e qualidade de óleo nas sementes e respectivas metodologias utilizadas para a caracterização de 18 acessos de <i>Jatropha curcas</i> L. da Coleção de Germoplasma do Departamento de Fitotecnia da UFRRJ	18

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	3
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Produção de biodiesel: conjuntura e espécies vegetais para produção	3
2.2 Centro de origem e dispersão	6
2.3 Aspectos citogenéticos, reprodutivos e botânicos	6
2.4 Aspectos relacionados à qualidade do óleo e toxicidade	7
2.5 Demandas atuais em programas de melhoramento genético do pinhão- manso	9
2.6 Estudo da diversidade Genética	10
2.7 Teste de raio-X em sementes	12
3 MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1 Colheita das sementes e obtenção dos raio-X	13
3.2 Análise digital das lâminas de raio-X	13
3.3 Quantificação do rendimento e qualidade do óleo das sementes radiografadas	14
3.4 Análise estatística dos dados	15
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4.1 Comportamento entre os genótipos	17
4.2 Aspectos relevantes às colheitas	22
4.3 Aspectos relacionados a diversidade genética.....	25
4.4 Aspectos a serem considerados no melhoramento genético do pinhão- manso	33
5 CONCLUSÕES	35
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

1. INTRODUÇÃO

Com a crescente demanda por novas fontes de energia menos poluidoras que os derivados de petróleo, mas com menores custos de produção e fontes de energia renováveis, apresenta-se a *Jatropha curcas* L., oleaginosa da família Euphorbiaceae, conhecida no Brasil como pinhão-mansão, vem apresentando grande destaque em pesquisas devido ao potencial na produção de óleo.

O destaque do pinhão-mansão como uma cultura potencial para atender ao programa nacional de produção de biodiesel, deve-se, principalmente, ao rendimento de óleo, por ser uma espécie não alimentar e devido ao seu manejo ser compatível com o perfil da agricultura familiar (LAVIOLA *et al.*, 2011), por proporcionar alternativas na geração de emprego e renda. Por isso, o conhecimento do controle genético da herança dos componentes de produção é fundamental para o estabelecimento de estratégias eficientes de seleção e para o desenvolvimento de variedades comerciais (ROCHA *et al.*, 2012).

O pinhão-mansão está sendo implantado em diversas regiões do Brasil, porém os genótipos usados nos plantios não são geneticamente conhecidos, não existindo ainda cultivares melhoradas, sobre os quais se tenha informações e garantias do potencial de produção e uniformidade nas diversas regiões produtoras (LAVIOLA *et al.*, 2010). Sendo assim, destaca-se a importância de estudos de diversidade genética no processo de melhoramento da espécie, a partir de caracteres morfológicos quantitativos e qualitativos, além de estudos a nível molecular e bioquímico.

Devido ao fato da espécie ainda não ser domesticada, caracteres morfológicos, teores de óleo e outros componentes químicos variam consideravelmente entre diferentes genótipos de pinhão-mansão (DRUMOND *et al.*, 2010). Segundo Fairless (2007) apesar do pinhão-mansão crescer abundantemente na natureza, ele nunca foi domesticado, seu rendimento não é previsível, as condições edafoclimáticas que melhor se adequam ao seu crescimento não são bem definidas e os potenciais impactos ambientais de cultivo em larga escala não são totalmente compreendidos. Freitas *et al.* (2011) relataram que os teores de óleo em pinhão-mansão variaram entre 16 e 45%. Com exceção das questões técnicas para a extração do óleo, seja pela prensagem ou pelo uso de solventes, o rendimento desse processo depende essencialmente do teor de óleo e do volume de matéria prima utilizado na extração. Já em relação aos componentes de produção dessa oleaginosa, o rendimento de óleo depende da expressão de características vegetativas que se diferenciam, principalmente, em relação ao número de ramos, a projeção da copa, a altura e o volume de copa por árvore, e características produtivas, tais como, a produção de grãos, o peso de grãos, o peso de amêndoas, o peso de casca e o teor de óleo nos grãos (RAO *et al.*, 2008; SPINELLI *et al.*, 2010; REIS *et al.*, 2015).

Para o cultivo bem-sucedido do pinhão-mansão, uma das questões mais importantes é a seleção do material de plantio, por isso, a caracterização do germoplasma é necessária (BASHA *et al.*, 2009). A avaliação dos caracteres morfológicos relacionados às sementes do pinhão-mansão como os aspectos relacionados ao tamanho das sementes, do endosperma, formato e fase de maturação em que o endosperma se apresenta em maior proporção são imprescindíveis para a seleção de genótipos de interesse, uma vez que a qualidade das mesmas influencia diretamente no teor do óleo produzido.

Trabalhos sobre aspectos morfológicos internos e externos das sementes são escassos ou inexistentes para a cultura do pinhão-mansão e essas variáveis são importantes no componente de produção. A análise dessas variáveis pode ser realizada de várias formas, entre elas a análise de raio-X, que permite a avaliação interna e externa sem destruição das sementes, o que permite avaliações adicionais como, por exemplo, o rendimento e qualidade do óleo nas mesmas sementes.

O teste de raios X é considerado um método simples, rápido e não destrutivo que tem como objetivo detectar sementes vazias, cheias e presença de danos internos causados por insetos ou danos mecânicos, que podem contribuir para a seleção de lotes em programas de controle da qualidade e, conseqüentemente, aumentar a eficiência do sistema de produção (*International Seed Testing Association, 2004*). É também, um método que pode ser utilizado especialmente para avaliação da morfologia de sementes, considerando atributos externos e internos, através da imagem de raio-X é possível identificar o grau de desenvolvimento e possíveis alterações nas sementes. (PINTO, *et al.*, 2009).

O objetivo deste trabalho foi conhecer a diversidade genética entre e dentro de acessos de pinhão-manso quanto às características relacionadas ao teor e qualidade de óleo e morfologia de sementes com variáveis estimadas a partir de análise digital em imagens provenientes de raio-X, e conhecer a relação entre estas variáveis e o seu comportamento de forma geral. E, após análise dos resultados, propor um ideótipo preliminar dos grãos de pinhão-manso que agregue alto potencial de rendimento e qualidade de óleo, bem como indicar os genótipos mais próximos ao ideótipo proposto.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Produção de biodiesel: conjuntura e espécies vegetais para produção

Atualmente, o interesse em combustíveis alternativos, como o biodiesel, tornou-se um pilar importante no cenário mundial e é provável que permaneça em desenvolvimento nas próximas décadas, principalmente devido à crise energética global e aos problemas ambientais sofridos com a constante emissão de agentes poluidores derivados da queima de combustíveis fósseis. A inserção do biodiesel na matriz energética brasileira pode proporcionar uma série de benefícios ao país. Esses benefícios alcançarão aspectos ecológicos, econômicos e sociais. Dentre os aspectos ecológicos, por exemplo, sabe-se que a combustão do biodiesel nos motores, não libera óxidos de enxofre (SO_2 e SO_3), causadores da chuva ácida, e também contribui para a redução do efeito estufa no planeta, pois, apesar de ocorrerem emissões de CO_2 durante a combustão, as plantas também consomem, durante a fotossíntese, parte do CO_2 emitido (DAMASCENO & REIS, 2012).

Biodiesel é o nome comum dado a um combustível alternativo que é produzido a partir de óleos vegetais comestíveis ou não comestíveis e gorduras animais, é definido pela Lei 11.097 de 13 de janeiro de 2005 como o biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores à combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia que possa substituir, parcial ou totalmente, combustíveis de origem fóssil (BRASIL, 2005).

A Lei nº 11.097 de 13 de janeiro de 2005, define ainda o biocombustível como o combustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna ou, conforme regulamento, para outro tipo de geração de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil (BRASIL, 2005).

O biodiesel é uma mistura de alquilésteres de cadeia linear, obtida da transesterificação dos triglicerídeos de óleos vegetais puros ou usados ou gordura animal com álcoois de cadeia curta, esta reação tem como coproduto o glicerol (Figura 1). Dentre os álcoois empregados na transesterificação de óleos e gorduras, os mais utilizados são metanol e etanol. O metanol é mais amplamente aplicado na produção de biodiesel em escala comercial e, por ser mais reativo, implica em menor temperatura e tempo de reação (LÔBO *et al.*, 2009).

O metanol apresenta vantagens na produção de biodiesel por apresentar a separação da fase éster (biodiesel) da glicerina de forma espontânea e a recuperação do álcool é completa, podendo retornar ao processo sem prejuízo (TEIXEIRA, 2005).

O etanol, além de ter produção consolidada no Brasil, é consideravelmente menos tóxico e renovável, porém a grande desvantagem do etanol está no fato deste promover maior dispersão da glicerina no biodiesel, dificultando a sua separação (LÔBO *et al.*, 2009). Além disso, segundo Teixeira (2005) o álcool recuperado não poderá ser reutilizado no sistema, devido ao teor de umidade próximo de 2%, adquirido durante o processamento. Em sistema de cooperativas, esse subproduto poderá ser hidratado e utilizado em veículos *Flex Fuel*, tornando-se um atrativo em sistemas de produção de pequena capacidade.

A reação de transesterificação de óleos ou gorduras é realizada na presença de catalisadores ácidos, básicos ou enzimáticos. Os catalisadores mais empregados são os hidróxidos de sódio e potássio (NaOH e KOH, respectivamente), definidos como catálise homogênea, nome derivado do resultado da dissolução dos hidróxidos no álcool. O hidróxido de potássio, além de promover rendimentos satisfatórios, tem sido amplamente empregado por ser reutilizado em processo de compostagem ou lançado em biodigestores (TEIXEIRA, 2005).

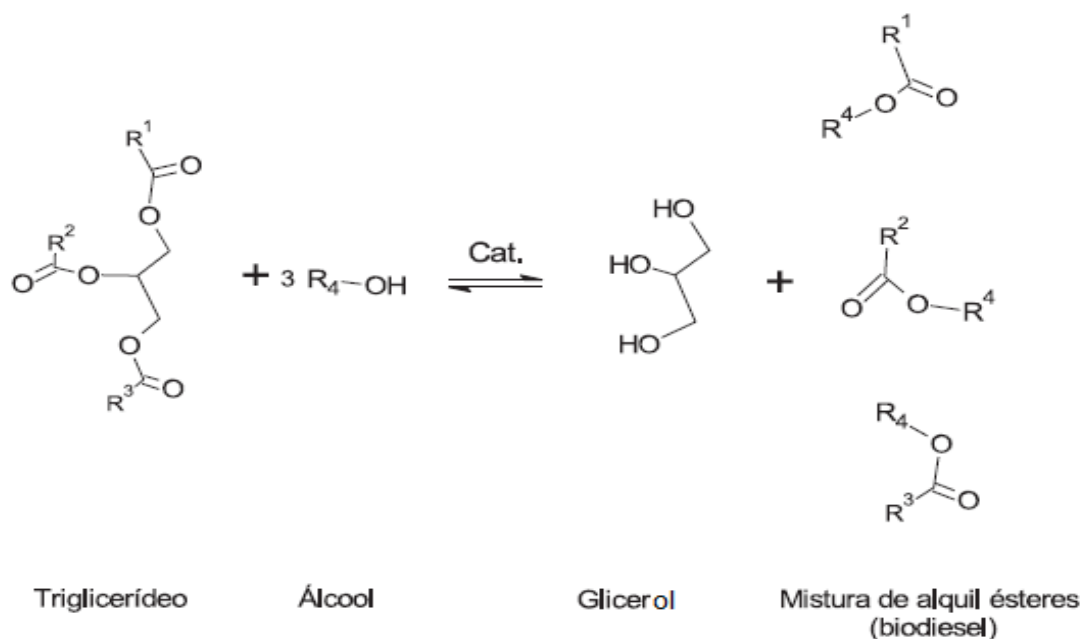


Figura 1. Esquema de uma reação de transesterificação de triglicerídeos com um álcool.

Apesar do biodiesel representar vantagens ecológicas, quando comparado com o óleo diesel, o seu custo de produção é quase o dobro. Hoje, o biodiesel é produzido em vários países do mundo e cada país tem sua própria política para produção. A instabilidade política na Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) abriu caminho para preços mais elevados dos combustíveis fósseis. Alternativamente, os países com pequena produção de combustível e aqueles sem produção de combustíveis fósseis ganharam com a utilização dos recursos das terras existentes, com o plantio de culturas aplicáveis aos biocombustíveis. Como resultado, a produção de biodiesel aumenta ano a ano, e no futuro próximo, é provável que o biodiesel se mantenha o principal biocombustível produzido a nível mundial (AVINASH *et al.*, 2014).

Embora haja o crescimento dos mercados de biocombustíveis, investimentos e construções de novas usinas diminuíram em alguns países em resposta a uma série de fatores: a incerteza política, o aumento da concorrência por matéria-prima, impactos das condições de seca na produtividade das culturas, as preocupações sobre a concorrência da produção de alimentos em relação aos recursos hídricos e terrestres, e sobre a sustentabilidade da produção de forma mais ampla. Atualmente, cerca de 80% da produção mundial de biocombustíveis líquidos está na forma de etanol. Os dois maiores produtores de etanol do mundo são os Estados Unidos e o Brasil, correspondem cerca de 85% da produção total (BALOGH *et al.*, 2015).

De acordo com a *International Energy Agency* (IEA), no ano de 2012, os Estados Unidos foi o maior produtor mundial de biodiesel, seguidos por Alemanha, Argentina e Brasil. No Brasil, segundo a ANP (2015), no ano de 2014, a região com maior produção de biodiesel B100 (biodiesel puro) foi a Centro-oeste, com produção aproximada de 9,2 milhões de barris produzidos, seguida pela região Sul, com aproximadamente 8,5 milhões de barris produzidos. Segundo os dados publicados pela ANP (2015), a produção de biodiesel dobrou nos últimos seis anos (Quadro 1).

Quadro 1. Produção de Biodiesel B100 (milhões de barris) no Brasil, estimada a partir de janeiro de 2009 a dezembro de 2014.

Dados	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Janeiro	568,300	927,338	1,171,966	1,213,976	1,424,678	1,542,362
Fevereiro	504,597	1,119,900	1,111,935	1,349,840	1,294,056	1,512,882
Março	830,203	1,346,965	1,468,451	1,389,245	1,451,391	1,709,818
Abril	663,312	1,162,968	1,260,361	1,147,089	1,595,042	1,592,737
Mai	652,020	1,275,127	1,386,805	1,339,863	1,546,881	1,525,443
Junho	887,738	1,289,035	1,456,551	1,351,669	1,487,172	1,581,999
Julho	972,133	1,304,720	1,571,808	1,448,799	1,639,572	1,905,636
Agosto	1,050,942	1,453,952	1,559,463	1,600,295	1,557,426	1,978,351
Setembro	1,009,755	1,383,683	1,471,639	1,586,561	1,589,524	1,966,606
Outubro	986,311	1,257,303	1,496,255	1,581,363	1,748,520	2,022,824
Novembro	1,045,319	1,307,451	1,491,876	1,543,023	1,667,907	1,984,114
Dezembro	946,225	1,181,581	1,364,074	1,540,766	1,348,313	2,187,403
Total	10,116,855	15,010,023	16,811,185	17,092,489	18,350,483	21,510,174

Fonte: Agência Nacional do Petróleo (ANP), 2015.

O Brasil se destaca por ser um país de grande biodiversidade, inclusive no que se refere a espécies oleaginosas com potencial para a produção de biodiesel. Entre essas espécies, destacam-se o dendê (*Elaeis guineensis*), a palma (*Elaeis oleifera*), o algodão (*Gossypium hirsutum*), o amendoim (*Arachis hypogaea*), a colza (*Brassica campestris*), a canola (*Brassica napus*), soja (*Glycine max*), o babaçu (*Orbignya martiana* O. *Oleifera*), o coco (*Cocos nucifera*), o girassol (*Helianthus annuus*), o gergelim (*Sesamum indicum*), a linhaça (*Linum usitatissimum*), a macaúba (*Acrocomia sclerocarpae* A. *Intumescens*), o buriti (*Mauritia flexuosa* e *M. Vinifera*), o nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) e o pinhão-manso (*Jatropha curcas*) (DAMASCENO & REIS, 2012).

O pinhão-manso, tem merecido especial destaque por apresentar características peculiares que a torna uma espécie aplicável ao sistema de cultivo familiar, como o fato de ser perene e poder ser colhida manualmente, além disso, possui ainda um alto potencial produtivo (DAMASCENO & REIS, 2012) e uma excelente qualidade físico-química de óleo (AKBAR *et al.*, 2009).

Segundo Akbar *et al.* (2009), as propriedades físico-químicas do óleo extraído do pinhão-manso têm melhor desempenho no motor por possuírem baixo ponto de congelamento, sendo indicado inclusive para o uso na aviação.

A produção de biodiesel a partir do pinhão-manso tem ainda a vantagem de não competir com a alimentação humana, devido a toxicidade, ao contrário da soja, cultura na qual é produzido cerca de 82% do biodiesel no Brasil (ANP, 2015), que é uma *commodity*, ou seja, é negociada na Bolsa de Valores Internacional como matéria-prima, para produção de outros produtos, assim como trigo, algodão, borracha, petróleo, entre outros. Além disso, em torno de 40% da soja produzida no Brasil é exportada *in natura* (TEIXEIRA, 2005).

No Brasil, a Lei nº 11.097, publicada em 13 de janeiro de 2005, introduziu o biodiesel na matriz energética brasileira e ampliou a competência administrativa da Agência Nacional de Petróleo, que passou, desde então, a denominar-se Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (BRASIL, 2005). Desde 1º de novembro de 2014, o óleo diesel comercializado em todo o Brasil contém 7% de biodiesel. Esta regra foi estabelecida pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), que aumentou de 5% para 7% o percentual obrigatório de mistura de biodiesel ao óleo diesel. A contínua elevação do percentual de adição de biodiesel ao diesel demonstra o sucesso do Programa Nacional de Produção e Uso do

Biodiesel e da experiência acumulada pelo Brasil na produção e no uso em larga escala de biocombustíveis (ANP, 2014).

2.2 Centro de origem e dispersão

A origem do pinhão-manso é bastante controversa. Existem relatos afirmando ser oriundo da América do Sul (PEIXOTO, 1973), México e Norte da América Central (APONTE, 1978) e também originário da América Latina (FERNANDEZ, 1993). Segundo Cordeiro e Boshier (2003), o pinhão-manso é uma espécie nativa da América Topical, cultivada desde os tempos pré-colombianos. Possivelmente tenha sido introduzida nesta região e, por isso, não se sabe exatamente qual foi a sua distribuição original (RESENDE *et al.*, 2013). Apesar das indefinições, segundo Fairless (2007), o centro de origem do pinhão-manso é a América Central.

Atualmente, o pinhão-manso é encontrado em quase todas as regiões intertropicais, estendendo-se sua ocorrência à América Central, Índia, Filipinas e Timor, até mesmo às zonas temperadas, em menor proporção. No Arquipélago de Cabo Verde, em Angola, Guiné, Moçambique, nas Antilhas Britânicas, Filipinas, México, Porto Rico, Venezuela e El Salvador, o pinhão-manso apresenta valor econômico industrial ao lado de outras culturas, sendo uma das maiores riquezas do Arquipélago de Cabo Verde, que foi um dos principais produtores e exportadores mundiais de sementes desta cultura para extração de óleo e produção de sabão (CORTESÃO, 1956; PEIXOTO, 1973).

No Brasil, o pinhão-manso ocorre praticamente em todas as regiões, sempre de forma dispersa, adaptando-se às diversas condições edafoclimáticas (ALVES *et al.*, 2008). Porém, a produtividade é muito variável, dependendo da região, do método de cultivo e dos tratamentos culturais, bem como da regularidade pluviométrica e da fertilidade do solo (DRUMOND *et al.*, 2010).

2.3 Aspectos citogenéticos, reprodutivos e botânicos

O pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) é uma espécie oleaginosa perene, arbustiva, monóica, diplóide com $2n=2x=22$ cromossomos e pertence à família *Euphorbiaceae* (HELLER, 1996; DAHMER *et al.*, 2009; DRUMOND *et al.*, 2010; DIEGUES *et al.*, 2015). Esta família compreende aproximadamente 8.000 espécies, com cerca de 300 gêneros (ARAUJO & SOUSA, 2008). O gênero *Jatropha* contém aproximadamente 160 espécies de plantas herbáceas e arbustivas, das quais várias apresentam valor medicinal, ornamental e outras produzem óleo (ALVES *et al.*, 2008)

Popularmente, *Jatropha curcas* L. é conhecida como: *physic nut*, *purging nut* (inglês), pinhão-manso, pinhão-papagaio, pinhão-de-purga, pinhão-de-cerca (Brasil), *tempate* (Honduras e El Salvador), *médicinier*, *pignon d'Inde*, *purghere* (França), *kadam* (Nepal), *yu-lu-tzu* (China), *mupuluka* (Angola), *butuje* (Nigéria) e *piñoncillo* (México) (NUNES, 2007).

O pinhão-manso, além de ser medicinal, também é produtora de óleo (OJEWOLE & ODEBIYI, 1980; MUNCH & KIEFFER, 1989; SUJATHA & DHINGRA, 1993). É uma planta alógama, de fecundação cruzada em que a polinização é entomófila, ou seja, realizada por insetos, o que aumenta a variabilidade genética das plantas. São polinizadores da espécie as formigas, abelhas, moscas, tripes, vespas e marimbondos (SATURNINO *et al.*, 2005; ARAÚJO & SOUSA, 2008).

A planta do pinhão-manso é um arbusto de crescimento rápido, que pode atingir uma altura de até 5 m, com diâmetro do tronco de aproximadamente 20 cm, possui raízes curtas e pouco ramificadas, caule liso, de lenho mole e medula desenvolvida, mas pouco resistente, e floema com longos canais, que se estendem até as raízes, nos quais circula o látex (CORTESÃO, 1956; BRASIL, 1985).

As folhas do pinhão-mansão são decíduas, ou seja, caem em determinada época do ano, são largas e alternas, em forma de palma com três a cinco lóbulos e pecioladas, com nervuras esbranquiçadas e salientes na face inferior, cordadas na base e filotaxia em espiral, têm o limbo foliar menor que o pecíolo, de 6 a 15 cm de comprimento, por igual largura, e o pecíolo de até 18 cm de comprimento. A planta de pinhão-mansão apresenta a primeira inflorescência no ápice dos ramos, na qual origina a emissão de novos ramos que passam a ser axilares até o surgimento de novas inflorescências que, por sua vez, impedem novamente o crescimento apical, surgindo os próximos ramos e, assim, sucessivamente (HELLER, 1996; SATURNINO *et al.*, 2005)

A inflorescência é uma cimeira, que surge junto com as folhas novas, sua floração é monóica, apresentando na mesma planta, mas com sexo separado, flores masculinas, em maior número, nas extremidades das ramificações e femininas ao longo das ramificações, as quais são pequenas, pentâmeras, de coloração amarelo-esverdeadas (HELLER, 1996; DIAS *et al.*, 2007; ALVES *et al.*, 2008).

O fruto é capsular ovóide, deiscente, tendo em média de 1,5 a 3,0 cm de diâmetro e 2,5 a 4,0 cm de comprimento. É trilocular com uma semente em cada cavidade. Inicialmente o fruto é verde, passando a amarelo, castanho e por fim preto, quando atinge o estágio de maturação. (ALVES *et al.*, 2008).

A semente é ovalada, endospermica, com tegumento rígido, quebradiço, de textura resinosa. A semente seca mede de 1,5 a 2 cm de comprimento e 1,0 a 1,5 cm de largura, dependendo da variedade e dos tratamentos culturais, pode apresentar de 33 a 45 % de casca e de 55 a 66 % de amêndoa. Dentro das sementes encontra-se um albúmen branco, oleaginoso, contendo um embrião provido de dois largos cotilédones planos foliáceos e arredondados (PEIXOTO, 1973; SATURNINO *et al.*, 2005; ALVES *et al.*, 2008).

2.4 Aspectos relacionados à qualidade do óleo e toxicidade

As sementes de pinhão-mansão são formadas aproximadamente por 7,2 % de água, 37,5% de óleo e 55,3 % de açúcar, amido, albuminóides e materiais minerais, sendo 4,8% de cinzas e 4,2 % de nitrogênio (PEIXOTO, 1973; ALVES *et al.*, 2008). O óleo é o principal composto extraído, e é formado por ácidos graxos saturados e insaturados. O teor de óleo extraído das sementes pode variar de acordo com as características genéticas da espécie e também em função do meio ambiente (CARVALHO & NAKAGAWA, 2000).

Pesquisas com sementes de pinhão-mansão provenientes da Malásia, apontam que os ácidos graxos predominantes são os monoinsaturados com teor encontrado de 45,4%, seguido dos poli-insaturados com 33% e os saturados com 21,6% (AKBAR *et al.*, 2009), segundo Martínez-Herrera *et al.* (2006) sementes provenientes do México, apresentaram maior percentual de ácidos graxos insaturados, sendo aproximadamente 47% para monoinsaturados, 39% poli-insaturados e 14% para ácidos graxos saturados.

Ferrari *et al.* (2009) em acessos de diferentes regiões do Brasil, obtiveram respostas semelhantes, com percentuais de 45,6%, 34,0% e 20,2% para ácidos graxos monoinsaturados, poli-insaturados e saturados, respectivamente. Fernández *et al.* (2015) com acessos fornecidos pela JATROPHA SPAINA (Toledo, Espanha) ao avaliar a composição do óleo de *J. curcas* também observou valores como 42,2%, 36,3% e 21,5% para ácidos graxos monoinsaturados, poli-insaturados e saturados, respectivamente, sendo que os de maior ocorrência foram os ácidos graxos monoinsaturados e poli-insaturados, oleico e linoleico, respectivamente, e os ácidos graxos saturados palmítico e esteárico (Quadro 2), ou seja, respostas semelhantes, quanto ao percentual de ácidos graxos, foram observadas por pesquisadores em diferentes regiões. Segundo Akbar *et al.* (2009) o óleo vegetal ideal para a produção de biodiesel deve conter reduzida saturação e baixa poli-insaturação, ou seja, deve ser rico em ácido graxo monoinsaturado, de acordo com esses autores a monoinsaturação do óleo de *J. curcas* é superior à apresentada pelos óleos de soja, palma e girassol.

Quadro 2. Composição em ácidos graxos, teor de saturados, monoinsaturados e poli-insaturados do óleo de sementes de *Jatropha curcas* L.

Ácidos Graxos	Porcentagem			
	Martínez-Herrera <i>et al.</i> (2006)	Akbar <i>et al.</i> (2009)	Ferrari <i>et al.</i> (2009)	Fernández <i>et al.</i> (2015)
Palmítico 16:0	11,8	14,2	13,2	15,0
Estearico 18:0	2,5	7,0	6,6	6,0
Oleico 18:1	45,6	44,7	44,8	40,9
Linoleico 18:2	39	32,8	33,8	36,0
Saturado	14	21,6	20,2	21,5
Monoinsaturado	47	45,4	45,6	42,2
Polinsaturado	39	33,0	34,0	36,3

A produção de biodiesel, por se tratar de uma reação normalmente catalisada por hidróxido de sódio, os ácidos graxos livres, ou seja, que não estão ligados à uma molécula de glicerol, reagem formando sabão, um contaminante que deverá ser eliminado gerando maiores custos de produção (FERNÁNDEZ *et al.*, 2015).

O óleo de *J. curcas* contém cerca de 14% de ácidos graxos livres, que está muito além do limite de 1% indicado para maior rendimento no processo de transesterificação na indústria de biodiesel. Os fatores de maior importância em oleaginosas são o teor de óleo e a qualidade do óleo que é determinada pelo percentual de ácidos graxos livres (FERNÁNDEZ *et al.*, 2015).

De acordo com Tiwari *et al.* (2007) após a extração do óleo bruto deverá ser feito um processo de pré-tratamento para que ocorra a neutralização dos ácidos graxos livres. Quanto maior for o índice de ácidos graxos livres do óleo bruto maior também será o custo para a industrialização e conversão em biodiesel devido ao maior consumo de reagentes, à maior quantidade de energia gasta, maior custo com mão-de-obra, redução na capacidade de produção e a perda em massa de óleo, devido à neutralização (SANTOS *et al.*, 2011).

A extração do óleo do pinhão-mansão pode ser feita por vários métodos, porém, em estudos acadêmicos, são comumente utilizadas a extração química (*soxhlet*) e/ou mecânica. Na extração química, as sementes são submetidas a um solvente, que geralmente é o hexano, por ser o mais seletivo, possuir estreita faixa de ebulição e ser imiscível com a água. Na extração mecânica usa-se uma prensa hidráulica para esmagar as sementes, são prensas de alta pressão e são bastante flexíveis para operar com diferentes tipos de oleaginosas. Porém, este processo tem a característica de deixar um residual de óleo na torta, na extração com hexano há maior eficiência na obtenção de óleo, além de resultar em um óleo mais puro para a adição ao diesel de petróleo (PEREIRA *et al.*, 2009).

Pereira *et al.* (2011) extraíram o óleo de pinhão manso por prensagem e *soxhlet*. Na extração por prensagem, o rendimento de óleo obtido das sementes foi de 16,7% enquanto que na extração em *soxhlet*, por 4 h, o rendimento foi de 39,6%, utilizando-se hexano como solvente.

Segundo Acthen *et al.* (2010) um aspecto importante da domesticação do pinhão-mansão é a toxicidade da planta. O consumo de sementes de pinhão-mansão pode resultar em vários sintomas, incluindo vômitos e diarreia. Os componentes tóxicos mais problemáticos são os ésteres de forbol (Figura 2) que, em geral, se encontram presentes em concentrações elevadas nas sementes.

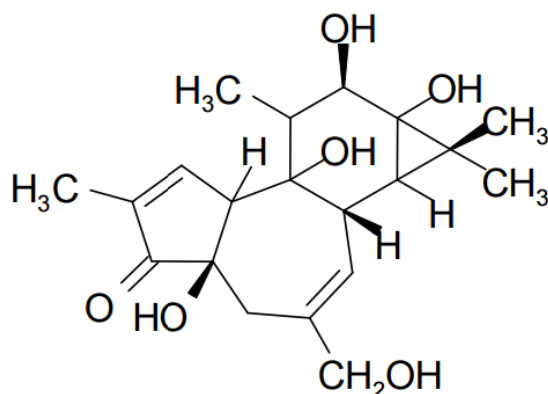


Figura 2. Molécula do éster de forbol

Ésteres de forbol são famílias de compostos que ocorrem naturalmente, amplamente distribuídas em espécies de plantas das famílias *Euphorbiaceae* e *Thymelaeaceae* (AHMED & SALIMON, 2009), são conhecidos por causarem graves efeitos biológicos incluindo inflamação e promoção de tumor (ACTHEN *et al.* 2010). Devido à toxicidade, ocorre a limitação na utilização da torta do pinhão-manso, substrato obtido após a extração do óleo, tanto na alimentação humana quanto animal.

Makkar *et al.* (2008) afirmam que a toxicidade das sementes de *J. curcas*, é devido à presença de componentes antinutricionais, tais como éster de forbol, curcina, ácido fítico, inibidor de tripsina e saponinas em grandes quantidades. Fatores antinutricionais tornam indisponíveis os nutrientes de um alimento ou parte desses, diminuem a sua digestibilidade e afetam sua eficiência nutritiva, podem diminuir o apetite e o desempenho produtivo dos animais e, em alguns casos, ser fatal quando utilizado por longo período (GUEDES, 2013).

Ferrari *et al.* (2009) analisaram sementes de *J. curcas* de diferentes áreas edafoclimáticas brasileiras e observaram uma variação do teor de éster de forbol de 1,41 a 8,97 mg g⁻¹ de semente. Porém, há registros na literatura de genótipos que não apresentaram essa substância, segundo Makkar *et al.* (1997) alguns genótipos não possuem éster de forbol, em sementes recolhidas em Papantla no México, não foram detectados, ao passo que em outras regiões o teor variou de 0,87 a 3,32 mg g⁻¹ de semente.

2.5 Demandas atuais em programas de melhoramento genético do pinhão-manso

No Brasil, instituições de ensino e pesquisa têm se dedicado ao melhoramento genético do pinhão-manso, podendo-se destacar a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), a EMBRAPA Agroenergia, a Universidade Federal de Viçosa (UFV), a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), a Universidade Federal de Lavras (UFLA), a Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS), entre outras. A UFRRJ liderou até o ano de 2014, um grande Projeto, financiado pela PETROBRAS Biocombustíveis, cujo objetivo central foi desenvolver tecnologias de produção para a região do semiárido brasileiro, envolvendo, principalmente, as culturas do pinhão-manso e girassol. O Projeto ainda contou com a participação de diversas outras instituições de ensino e pesquisa sediadas no Brasil.

Por se tratar de uma espécie ainda não-domesticada (ACTHEN *et al.*, 2010), o pinhão-manso necessita de demandas básicas para que seja realmente cultivada no Brasil. Não há até o presente momento materiais genéticos disponíveis para o plantio. De acordo com Damasceno Junior e Reis (2012) a redução do espaçamento entre as plantas é vital para o sucesso na produção. Atualmente, o pinhão-manso ainda é plantado em espaçamentos muito largos, como por exemplo, 3 x 4 metros e até 4 x 5 metros. Tais espaçamentos diminuem o número de plantas por hectare e, por consequência, a produção de grãos não é incrementada. Assim sendo, o porte

da planta deve ser estudado afim de se selecionar genótipos com porte reduzido e que produzam bem em ambientes adensados.

Outras demandas são também necessárias, podendo-se citar a necessidade de uniformização da floração em pinhão-manso, o que acarretará a uniformidade de maturação dos frutos no cacho das plantas. De acordo com Damasceno Junior e Reis (2012) a baixa uniformidade durante a fase de floração tem resultado em colheitas desuniformes, o que tem causado o aumento dos custos de produção. De acordo com Reis (2013), no Rio de Janeiro, a colheita do pinhão-manso inicia-se no mês de dezembro e se estende até o mês de maio do ano seguinte, sendo que o pico da colheita se dá no mês de janeiro na maioria dos genótipos, e existe ampla variabilidade para o caráter.

Damasceno Junior e Reis (2012) também apontam a necessidade de redução de compostos tóxicos nas sementes do pinhão-manso, como os ésteres de forbol, como um dos principais objetivos dos programas de melhoramento da cultura. Dessa forma, busca-se a seleção de genótipos estáveis para baixos teores de ésteres de forbol em suas sementes. Conforme Makkar *et al.* (2008), genótipos oriundos do Sul do México apresentaram baixos teores de ésteres de forbol, sendo até denominados acessos não-tóxicos.

Os altos teores de ésteres de forbol é uma das preocupações apontadas para a produção de biodiesel a partir dos grãos de pinhão-manso, pois o resíduo produzido, apesar de apresentar alto valor proteico, por ser tóxico, não pode ser aproveitado como ração animal, o aproveitamento viabiliza economicamente a cultura e agrega valor ao subproduto (KOOTSTRA *et al.*, 2011). De acordo com Makkar & Becker (2009), uma tonelada de grãos, apresentando um teor de óleo de 58%, é capaz de produzir 270 kg de torta contendo alto percentual de proteína bruta.

Trabalhos relacionados aos aspectos fitossanitários no pinhão-manso são ainda escassos. De acordo com Damasceno Junior e Reis (2012), a podridão do colo é uma das principais doenças na cultura do pinhão-manso.

Embora outras pragas e doenças também são encontradas como: os ácaros brancos, com ataques mais severos, ácaros vermelhos, tripses, percevejos fitófagos, principalmente da espécie *Pachicoris torridus*, cigarrinha verde, cupins e brocas. Enquanto às doenças, destacam-se o *Oidium sp*, *Colletotrichum sp* e *Fusarium sp* (ALVES, 2008; SATURNINO, 2005).

Segundo Rao *et al.* (2008) o conhecimento da variação genética quanto ao padrão de ramificação, flores femininas em relação às flores masculinas, resistência às pragas, resistência à seca e atributos de produtividade em germoplasmas de *J. curcas* podem se apresentar relevantes em programas de melhoramento, principalmente em seleção de genótipos para maior conteúdo de óleo e rendimento.

Damasceno Junior (2012) aponta como prioridade no melhoramento genético do pinhão-manso o aumento da precocidade na produção, a uniformidade de maturação dos frutos no cacho e o aumento do número de sementes por genótipo como os maiores gargalos no melhoramento genético do pinhão-manso. Em resumo, segundo o autor pode-se propor de forma geral o seguinte ideótipo para a cultura do pinhão-manso: maior precocidade na produção; maior teor de óleo nas sementes; qualidade de óleo ótima para uso em motores de combustão interna; maior número de flores pistiladas na inflorescência; maior número de sementes por genótipo; maior número de sementes por fruto; maior peso de sementes; maturação uniforme dos frutos e sementes; menor altura de plantas; genótipos com menor toxicidade ou não tóxicos; maior tolerância a salinidade e alumínio; e resistência e/ou tolerância às pragas e doenças, principalmente à podridão-do-colo.

2.6 Estudo da diversidade Genética

A divergência genética é de grande importância para o melhoramento, pois, adequadamente explorada, pode reduzir a vulnerabilidade da cultura a doenças e, ao mesmo

tempo, acelerar o progresso genético para determinados caracteres (CUI *et al.*, 2001). Visa ainda, identificar os genitores mais divergentes, com objetivo de maximizar a heterose em gerações segregantes, tendo assim a possibilidade de recuperação de genótipos superiores (CRUZ *et al.*, 2004).

Além de promover a identificação de genitores divergentes e possuidores de características complementares, a estimação da diversidade genética ainda pode ser utilizada como uma importante ferramenta para a melhor compreensão do processo evolutivo das plantas (MIRANDA, 1998).

Para Falconer (1981), a expectativa de que pais divergentes proporcionem boas combinações híbridas procede do fato de que a heterose (ou vigor híbrido) manifestada em híbridos é dada em função dos efeitos da dominância dos genes para o caráter em questão, e do quadrado da diferença das frequências gênicas de seus genitores, somados aos efeitos epistáticos, geralmente negligenciados.

Em casos em que a população apresenta uma base genética estreita, deve-se identificar grupos de progênies divergentes geneticamente para efetuar cruzamentos controlados, visando ampliar a variação genética disponível e contribuir para a maximização da produtividade (SILVA *et al.*, 2012).

A divergência genética pode ser avaliada por meio de técnicas biométricas, baseadas na quantificação da heterose, ou por processos preditivos, que tomam por base as diferenças morfológicas, fisiológicas, entre outras, apresentadas pelos progenitores na determinação da divergência, que é geralmente quantificada por uma medida de dissimilaridade, que podem ser estimadas, por exemplo, pelas distâncias Euclidianas ou de Mahalanobis (CRUZ *et al.*, 2004).

Diferentes técnicas de análise multivariada têm sido usadas para estimar a divergência genética (BENIN *et al.*, 2003), incluindo análises de componentes principais, variáveis canônicas e métodos aglomerativos, este último difere dos demais por dependerem fundamentalmente de medidas de dissimilaridade estimadas previamente (CRUZ & REGAZZI, 1997; BARBIERI *et al.*, 2005).

A distância Euclidiana pode ser obtida por meio de observações individuais dos progenitores, sem a necessidade de experimentos que envolvam delineamento experimental. Porém, um dos inconvenientes do uso da distância Euclidiana é o fato dela ser alterada com a mudança da escala de medições, com o número de caracteres estudados e por ela não considerar o grau de correlação entre os mesmos (CRUZ *et al.*, 2004).

A distância de Mahalanobis oferece vantagem em relação à distância Euclidiana por levar em consideração a correlação entre os caracteres avaliados, que podem ser estimados a partir das médias dos dados originais e da matriz de covariâncias residuais ou da matriz das variâncias e covariâncias residuais entre os caracteres avaliados, porém, necessita do emprego de delineamentos estatísticos (CRUZ *et al.*, 2004).

No entanto, deve-se enfatizar a existência de outras medidas, como as distâncias de Minkowski, Chebyshev (*Maximum*), Manhattan (*City-block*) e de Canberra, recomendadas para variáveis quantitativas, o coeficiente de concordância simples ou de coincidência (*Simple Matching* ou *Matching Coefficient*), de Jaccard e o de Sorensen-Dice (NEI & LI), indicados para variáveis qualitativas binárias, além do coeficiente de Cole-Rodger, para variáveis multicategóricas, entre outras.

Análises de agrupamento (*cluster analysis*) tem por finalidade reunir, por algum critério de classificação, os progenitores em vários grupos, de tal forma que exista homogeneidade dentro dos grupos e heterogeneidade entre os grupos, essa técnica divide ainda, um grupo original de observações em vários grupos, segundo um algum critério de similaridade ou dissimilaridade, as medidas de dissimilaridade mais empregadas no melhoramento são as distâncias Euclidianas e de Mahalanobis (CRUZ *et al.*, 2004).

Os métodos de agrupamento baseiam-se principalmente em métodos hierárquicos e de

otimização. Nos métodos hierárquicos, os que mais se destacam são o método do vizinho mais próximo (ligação simples), vizinho mais distante (ligação completa), método de Ward, método de Gower e o método de distância média (UPGMA - *Unweighted pair-group method using an arithmetic average*), onde os agrupamentos são identificados na forma de dendrogramas. Nos métodos de otimização, destaca-se o algoritmo de Tocher, citado por Rao (1952).

Estudos usando a análise da divergência genética por meio da técnica de componentes principais consistem em transformar um conjunto original de variáveis, em outro conjunto de dimensão equivalente, os componentes principais (CP's), porém com propriedades importantes que são de interesse nos programas de melhoramento, cada componente principal é uma combinação linear das variáveis originais. Além disso, são independentes entre si e estimados como o propósito de reter o máximo de informação extraídas dos dados iniciais, portanto, cada componente retém uma porcentagem da variância original e as variâncias decrescem do primeiro ao último componente principal (CRUZ *et al.*, 2004).

A análise por variáveis canônicas, quando utilizada em estudos de divergência genética, tem como propósito possibilitar a identificação de indivíduos similares em gráficos de dispersão, bi ou tridimensionais, e proporcionar a simplificação estrutural dos dados, à semelhança dos componentes principais. Porém, apresenta a vantagem de manter o princípio de processo de agrupamento com base na distância de Mahalanobis, que leva em conta as correlações residuais existentes entre as médias dos progenitores. Assim como, os componentes principais, também leva em consideração a concentração da variabilidade disponível entre as primeiras variáveis (CRUZ *et al.*, 2004).

Em ambas as metodologias, os primeiros componentes ou variáveis devem envolver pelo menos 80% da variação total, quando usado em estudos de divergência genética, podem ser analisados até o quarto componente (CRUZ & REGAZZI, 1997). Estudos sobre a diversidade genética em pinhão-mansão ainda são escassos, principalmente no que diz respeito à avaliação de características morfológicas e bioquímicas das sementes desta oleaginosa.

Estudos sobre a divergência genética dos efeitos diretos e indiretos de uma característica sobre a outra são verificadas pela análise de trilha (*Path analysis*), proposta por Wright (1921), consiste no estudo dos efeitos diretos e indiretos dos caracteres sobre a variável básica, no qual as estimativas são obtidas por meio de equações de regressão. É o estudo da decomposição do coeficiente de correlação, permitindo avaliar se a relação entre duas variáveis é de causa e efeito ou determinada pela influência de outra (s) variável (s), portanto, pode ser feita a partir de correlações fenotípicas, genotípicas ou ambientais (CRUZ *et al.*, 2004). Em programas de melhoramento genético, o conhecimento da correlação entre caracteres é importante quando se deseja fazer seleção simultânea de caracteres, ou quando um caráter de interesse apresenta baixa herdabilidade, problemas de medição ou de identificação (CARVALHO *et al.*, 1999).

Considerando que cada metodologia apresenta vantagens e desvantagens para quantificar a divergência genética, a escolha do método mais adequado tem sido determinada de acordo com a cultura, objetivos do pesquisador, pela facilidade da análise e pela forma como os dados foram obtidos (CRUZ *et al.*, 1994).

2.7 Teste de raio-X em sementes

O teste de raios X é considerado um método simples, rápido e não destrutivo que tem como objetivo detectar sementes vazias, cheias e presença de danos internos causados por insetos ou danos mecânicos, que podem contribuir para a seleção de lotes em programas de controle da qualidade e, conseqüentemente, aumentar a eficiência do sistema de produção (International Seed Testing Association, 2004). É também, um método que pode ser utilizado especialmente para avaliação da morfologia de sementes, considerando atributos externos e internos, através da imagem de raio-X é possível identificar o grau de desenvolvimento e possíveis alterações nas sementes. (PINTO, *et al.*, 2009).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), no *campus* localizado no município de Seropédica, RJ, e na EMBRAPA Agroindústria de Alimentos, em Barra de Guaratiba, RJ, onde foram realizadas todo procedimento com o óleo extraído a partir das sementes.

O trabalho foi dividido basicamente em quatro etapas: colheita de sementes e obtenção dos raio-X das mesmas; análise digital das imagens provenientes do raio-X; quantificação do rendimento e qualidade do óleo nas sementes radiografadas; e análise estatística dos dados.

3.1 Colheita das sementes e obtenção dos raio-X

Todas as sementes foram obtidas em frutos de 18 acessos de pinhão-manso (Quadro 3) (*Jatropha curcas* L.) pertencentes a Coleção de Germoplasmas de Pinhão-manso do Departamento de Fitotecnia da UFRRJ. Os acessos, provenientes de 9 locais distintos do Brasil, foram plantados aleatoriamente no campo experimental em espaçamento 3,0 x 2,0 metros.

Quadro 3. Procedência, identificação e número de acessos por procedência dos 18 genótipos de *Jatropha curcas* L. da Coleção de Germoplasma do Departamento de Fitotecnia da UFRRJ.

Procedência	Identificação dos acessos UFRRJ	Nº de acessos
Janaúba - MG	385/860/875/876	4
Dourados - MS	907/908/909	3
Petrolina - PE	002 / 376	2
MA-01-CNPS - MA	342/356	2
Saída Jaíba - MG	004/384	2
Guapimirim - RJ	341/370	2
Lavras - Lote 210 - MG	345	1
Bom Jardim - RJ	348	1
Barra do Bugres - MT	003	1

As sementes foram colhidas em três épocas do ano, na primeira e segundas quinzenas de janeiro de 2013, e primeira quinzena de fevereiro do mesmo ano. Estas foram imediatamente identificadas conforme acesso e época de colheita, em seguida, e rapidamente, foram organizadas, individualmente por acesso, em uma plataforma de papel “duro”. Cada plataforma, de cada acesso, foi organizada pelas três colheitas, sendo na porção superior, a primeira colheita (primeira quinzena de janeiro), na porção mediana, a segunda colheita (segunda quinzena de janeiro), e na porção inferior, a terceira colheita (primeira quinzena de fevereiro). Cada uma das colheitas foi organizada em três fileiras de 10 sementes cada, portanto, cada colheita foi composta por 30 sementes, e cada plataforma, por 90 sementes. Após a montagem as 18 plataformas foram levadas ao Hospital Veterinário da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, onde foram radiografadas em lâminas e reveladas, obtendo-se lâminas de raio-X por acesso, contendo sementes provenientes das três colheitas. Estas foram colocadas em negatoscópio para a captura de imagens digitalizadas de alta resolução, em câmera digital Canon Rebel EOS T5i 18,0 Megapixels.

3.2 Análise digital das lâminas de raio-X

Com as imagens digitalizadas, procedeu-se o processamento e análise digital das imagens no Laboratório de Melhoramento Genético de Plantas do Departamento de Fitotecnia da UFRRJ. Todo o processamento e análise digital das imagens foram realizados no Programa *ImageJ*, versão 1.42q (RASBAND, 2002).

Após processamento e binarização das imagens, definiu-se a escala em centímetros por meio de uma marca de tamanho conhecido nas imagens. Com isso, foi possível calcular o número de *pixels* por centímetro em cada uma das imagens a serem analisadas. A análise digital das imagens foi realizada com o auxílio da ferramenta *Analyze Particles*, localizada no menu *Analyze* do *ImageJ*.

As variáveis morfológicas mensuradas foram: comprimento da semente (COS), largura da semente (LAS), relação entre o comprimento e a largura (RCL), área da semente (ARS), área do endosperma (ARE), porcentagem de endosperma na semente (POAes), perímetro da semente (PESe) e circularidade da semente (CIS). A variável peso da semente em gramas (PES) foi mensurada em balança digital com precisão 0,01g, como segue especificado no Quadro 4.

Todas as variáveis morfológicas mensuradas (Quadro 4) foram estimadas por colheita dentro de cada um dos 18 acessos de pinhão-manso utilizados.

Quadro 4. Descritores morfológicos e respectivas metodologias utilizadas para a caracterização de 18 acessos de *Jatropha curcas* L. da Coleção de Germoplasma do Departamento de Fitotecnia da UFRRJ.

Descritor	Metodologia
Comprimento da semente (COS)	Obtido (em cm) pela medida de uma extremidade até a outra no sentido mais longo da semente
Largura da semente (LAS)	Obtido (em cm) pela medida de uma extremidade até a outra no sentido mais curto da semente
Relação entre o comprimento e a largura (RCL)	Relação obtida através da razão entre o valor do <i>comprimento da semente</i> pelo valor da <i>largura da semente</i> (ambos citados anteriormente).
Área da semente (ARS)	Obtido (em cm ²) da área selecionada da semente até o limite externo
Área do endosperma (ARE)	Obtido (em cm ²) da área selecionada da semente até o limite do endosperma
Ocupação da área do endosperma na semente (POAes)	Obtido (em %) pela ocupação da <i>área do endosperma</i> em relação a <i>área da semente</i> (ambos citados anteriormente).
Perímetro da semente (PESe)	Comprimento (em cm) do limite externo de cada semente.
Circularidade da semente (CIS)	Estimada pela fórmula: $4\pi \times \text{ARS} / \text{PESe}^2$, sendo ARS e PESe, área e perímetro da semente, respectivamente.
Peso da semente (PES)	A média do peso das sementes (em g) foi obtida pela divisão do valor da soma do peso das sementes coletadas, pelo número total de sementes.

3.3 Quantificação do rendimento e qualidade do óleo das sementes radiografadas

Neste procedimento, foram utilizadas as mesmas sementes radiografadas. A determinação de lipídeos para quantificação do teor de óleo foi baseada no método 945.38 do *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 2010). Após despulpados, suas sementes foram secas em estufa de circulação de ar a 60° C até peso

constante. Posteriormente, estas foram trituradas e o óleo extraído em extrator *Soxhlet* por 16 h, utilizando éter de petróleo 30-60 °C como solvente. Por final, o solvente foi removido em rota-vapor sob corrente de nitrogênio. A quantificação de ácidos graxos foi realizada por cromatografia gasosa. As análises relativas à extração e quantificação do óleo foram realizadas no Laboratório de Físico-química da EMBRAPA Agroindústria de Alimentos, em Guaratiba, RJ.

As variáveis quanto ao teor e qualidade de óleo mensuradas (Quadro 5) foram estimadas por colheita para cada um dos 18 acessos de pinhão-manso utilizados.

Quadro 5. Descritores quanto ao teor e qualidade de óleo nas sementes e respectivas metodologias utilizadas para a caracterização de 18 acessos de *Jatropha curcas* L. da Coleção de Germoplasma do Departamento de Fitotecnia da UFRRJ.

Descritor	Metodologia (obtenção em %)
Teor de óleo % na base úmida (TOBu)	via extrator <i>Soxhlet</i>
Teor de óleo % na base seca (TOBs)	via extrator <i>Soxhlet</i>
Ácidos graxos saturados (AGSat)	via cromatografia gasosa
Ácidos graxos monoinsaturados (AGMon)	via cromatografia gasosa
Ácidos graxos poli-insaturados (AGPol)	via cromatografia gasosa

As variáveis relacionadas ao rendimento de óleo (TOBu e TOBs) foram estimadas, por acesso, em cada uma das três colheitas realizadas. Já as variáveis relacionadas à qualidade do óleo (AGSat, AGMon e AGPol) foram mensuradas repetidamente, porém, obteve-se apenas uma estimativa por acesso. Tal fato decorreu em função do número de sementes por colheita não gerar uma amostra suficiente em termos de peso em gramas, para que as análises de qualidade de óleo fossem realizadas de forma segura.

3.4 Análise estatística dos dados

As análises estatísticas foram realizadas por meio do programa computacional Genes, versão 2.0.0 (CRUZ, 2007). Todas as médias por acesso referentes às variáveis morfológicas das sementes, rendimento e teor e qualidade de óleo foram comparadas por intervalos de confiança ao nível de 5% de probabilidade. Num segundo momento, procedeu-se testes comparando médias duas a duas, via teste “t” ao nível de 5% de probabilidade. Neste caso, comparou-se as médias entre as colheitas dentro de cada acesso, utilizando-se o número de sementes dentro de cada colheita como repetição.

Foram obtidas também estimativas de correlações de Pearson (STELL *et al.*, 1980) entre todas as variáveis, de acordo com o estimador abaixo:

$$r = Cov_{xy} / \sqrt{\sigma_x^2 \cdot \sigma_y^2}$$

Afim de se conhecer a diversidade genética entre os acessos, posteriormente, com base nas médias de todas as variáveis estudadas estimou-se a distância Euclideana, e em seguida, procedeu-se análises de agrupamento via método UPGMA (*Unweighted pair-group method using an arithmetic average*) e Tocher, respectivamente, agrupamento hierárquico e por otimização. Análises de dispersão via Componentes Principais também foram realizadas utilizando-se as mesmas variáveis.

A distância Euclidiana foi estimada conforme estimador abaixo:

$$d_{ii'} = \sqrt{\sum_j (x_{ij} - x_{i'j})^2}$$

Sendo que:

x_{ij} é a observação do indivíduo i ($i= 1,2,\dots, p$), em referência ao j -ésimo caráter ($j= 1,2,\dots,n$);
 $d_{ii'}$ é a distância entre dois indivíduos i e i' .

O método UPGMA define que a distância entre dois grupos (i e j) é a média das distâncias entre todos os elementos (k), sendo um em cada grupo, como segue:

$$d_{(ij)k} = \frac{d_{ik} + d_{jk}}{2}$$

Após estimada as matrizes fenéticas (distância Euclidiana) e cofenética (matriz de agrupamento via UPGMA) estimou-se o coeficiente de correlação cofenético, via Teste de Mantel com 1.000 permutações. Também se estimou o número ótimo de grupos no dendrograma, calculado através da metodologia proposta por Kelley *et. al.* (1996).

No método de Tocher, uma vez formado o grupo, deve-se calcular as medidas de dissimilaridade entre o grupo e os demais elementos, a média das medidas dentro de cada grupo deve ser menor que as distâncias médias entre quaisquer grupos, e é dada por:

$$d_{(ij)} = d_{ik} + d_{jk}$$

Para a análise de dispersão utilizou-se a metodologia dos componentes principais, em que consistem em transformar um conjunto original de variáveis, em outro conjunto de dimensão equivalente, porém, com propriedades importantes que são de interesse nos programas de melhoramento, cada componente principal é uma combinação linear das variáveis originais. Os primeiros componentes devem envolver pelo menos 80% da variação total, quando usado em estudos de divergência genética, e podem ser analisados até o quarto componente (CRUZ *et. al.*, 2004).

Utilizando-se o critério de Jolliffe (1972 e 1973), buscou-se conhecer a importância relativa de cada variável aqui mensurada na dispersão dos acessos na plotagem dos componentes principais de maior importância. O maior autovetor (em valor absoluto) a partir do último componente, até aquele cujo autovalor não exceda 0,70 definirá as variáveis de maior importância relativa na dispersão dos acessos na plotagem dos componentes principais.

Foram estimadas também as similaridades inter e intra-acesso com base no algoritmo ANOSIM, proposto por Clarke & Green (1988), conforme demonstrado abaixo:

$$R = \frac{\bar{r}_B - \bar{r}_W}{n(n-1)/4}$$

Onde, \bar{r}_B corresponde à média das similaridades entre grupos; \bar{r}_W a média das similaridades dentro dos grupos; e n , o número total de observações. As estimativas são plotadas em *boxplots*, no qual a sua largura é proporcional à raiz quadrada do número de observações nos grupos. Valores próximos a zero indicam a aceitação da hipótese nula (H0), e valores próximos a +1 e -1 indicam, maior diferença entre e dentro dos grupos, respectivamente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Comportamento entre os genótipos

De acordo com a descrição apresentada na Tabela 1, observa-se quanto às variáveis referentes à morfologia das sementes que a maior variação encontrada entre os genótipos estudados foi para a circularidade da semente (CIS), cujo coeficiente de variação (CV%) estimado foi de 15,60%. As demais variáveis, perímetro da semente (PESe), relação entre o comprimento e a largura (RCL), peso da semente (PES), largura da semente (LAS) e comprimento da semente (COS) obtiveram baixos coeficientes de variação, com 8,85, 5,69, 5,55, 4,09 e 2,46%, respectivamente, ou seja, baixa variação em relação à CIS.

A média observada para a CIS foi de 0,58, e o maior valor foi de 0,73, e o menor, de 0,42, observados respectivamente nos genótipos 860 e 345 (Tabela 1). Os referidos valores foram estatisticamente distintos pelo intervalo de confiança ao nível de 5% de probabilidade. Os valores de circularidade demonstram que quanto mais próximos de 1,00, mais as sementes se assemelham a um círculo perfeito.

A maior média para o comprimento de sementes (COS) foi estimada em 1,91 cm, no genótipo 384, e a menor, 1,71 cm, foi encontrada nas sementes do genótipo 860, ambos estatisticamente distintos (Tabela 1). Para a largura de sementes (LAS), a maior e menor estimativa foi de 1,09 e 0,92 cm, estimadas nos genótipos 909 e 384, respectivamente, que também se apresentaram distintos estatisticamente.

Valores de comprimento e largura entre 1,78 e 1,85 cm e 0,80 e 0,86 cm, respectivamente, foram relatados por Santoso (2011) em genótipos de pinhão-manso provenientes da Indonésia. Reis *et al.* (2015) encontram comprimentos de sementes de pinhão-manso variando entre 1,73 e 1,92 cm, e média de 1,80 cm. Já Ribeiro (2013) encontrou sementes de pinhão-manso variando de 1,20 a 1,85 cm, e média de 1,64 cm, para comprimento, e 0,72 a 1,10 cm, e média de 0,97 cm, para a largura das sementes. Diante dos resultados apresentados acima, nota-se que a seleção de plantas com sementes mais compridas ou com maior diâmetro é realmente dificultada pela baixa variação encontrada para o caráter, porém, aumentos mínimos podem significar grandes elevações na produção de grãos em pinhão-manso.

Na Tabela 2 observa-se que existe uma tendência de sementes mais circulares serem menos compridas e mais largas, haja vista a correlação entre CIS com LAS e COS, cujas correlações foram estimadas em 0,37 e -0,33, respectivamente (Tabela 2).

Considerando apenas a disponibilidade de variação e quando se deseja o aumento do tamanho das sementes, entende-se que o parâmetro PESe (perímetro da semente) pode ser utilizado como seleção indireta para o aumento do tamanho da semente em pinhão-manso, pois este agrega maior variabilidade (Tabela 1) entre os de menor variabilidade (RCL, LAS e COS).

Na Tabela 1 verifica-se que o genótipo que apresentou maior perímetro (PESe) foi o 345, e apenas os genótipos 860, 875 e 909 diferiram estatisticamente deste. Porém, quando se observa os dados apresentados na Tabela 2, sobre a correlação entre as variáveis, nota-se que existe uma correlação negativa entre o perímetro e a largura da semente ($r = -0,23$), ou seja, a medida que a semente aumenta de tamanho, a largura tende a reduzir. Portanto, a tendência é que sementes maiores tendem a ser mais compridas e finas, corroborando com o que já foi dito anteriormente. Tal fato pode ser observado também nas estimativas de correlação entre PESe e COS, e PESe e RCL, cujas estimativas de correlação foram de 0,37 e 0,32, respectivamente.

A tendência acima referida também pode ser observada pela correlação entre comprimento (COS) e largura das sementes (LAS), cuja correlação estimada foi negativa, da ordem de -0,25. Apesar desta possibilidade, é necessário conhecer se o aumento do comprimento das sementes conduz a uma maior produção de óleo na cultura.

Considerando neste momento as variáveis área do endosperma (ARE), área de semente (ARS) e porcentagem de área ocupada pelo endosperma na semente (POAes) percebe-se, na

Tabela 1, que os coeficientes de variação foram estimados em 8,83, 7,88 e 7,42%, respectivamente. Conhecer o comportamento destas variáveis na cultura do pinhão-mansão é de extrema importância, visto que o óleo produzido como matéria-prima para o biodiesel concentra-se totalmente no endosperma das sementes.

Os valores referentes a média, máximo e mínimo da variável ARE foram de 1,0, 1,18 e 0,82 cm², respectivamente. Verifica-se na Tabela 1 que a média de POAes foi de 72,55%, sendo que o valor máximo e mínimo apresentado para a variável foi, respectivamente, de 86,68 e 64,44%. Portanto, em média, não houveram sementes que cobriram 100% de sua cavidade com endosperma, e há variação para o caráter. Os genótipos que apresentaram o maior e o menor valor de porcentagem foram o 384 e 003, respectivamente.

Com base nos resultados anteriormente apresentados recomenda-se aos melhoristas de pinhão-mansão a caracterização do endosperma das sementes, visto que pela simples observação da presença de sementes na planta ou da constatação da integridade destas não é possível inferir sobre a produção de endosperma e, portanto, sobre a produção de óleo nas sementes, e consequentemente na planta.

Na Tabela 2, é possível observar que existe uma correlação significativa e positiva da ordem de 0,58 entre a porcentagem de área ocupada pelo endosperma na semente (POAes) e o teor de óleo produzido nas sementes, tanto na extração em base seca (TOBs) quanto em base úmida (TOBu). Há que se ter muito cuidado na seleção de genótipos apenas com base na produção de frutos ou sementes, visto que a produção de óleo pode ser comprometida não somente pela influência do ambiente e do manejo da cultura, mas também pelo potencial genético do genótipo em produzir endosperma na cavidade interna de suas sementes. É por isso que, caracterizar os genótipos quanto a produção de endosperma pode ser um grande auxílio na seleção de genótipos mais produtivos em pinhão-mansão.

De acordo com Ferrari *et al.* (2009) as sementes de pinhão-mansão possuem 40,59% de casca e 59,10% de endosperma. Estes valores são próximos aos resultados obtidos por Makkar *et al.* (1998) que obtiveram 61 a 66% do peso de endosperma em sementes de diferentes origens. Vale ressaltar que a área de endosperma (ARE) também obteve correlação positiva com TOBs e TOBu, ambas estimadas em 0,44. Porém, a área total de semente (ARS) obteve uma correlação muito baixa e negativa com os teores de óleo mencionados, sendo essa estimada em -0,08.

Estas estimativas podem indicar que o aumento do tamanho total da semente não contribui efetivamente para o aumento de rendimento de óleo no pinhão-mansão. Esse fato reforça ainda mais a necessidade de se avaliar o endosperma das sementes quando se pretende o aumento do rendimento de óleo. Na Tabela 2, é possível também observar que a variável peso de sementes (PES) pode não ser tão eficiente na seleção indireta para área de endosperma (ARE), visto que a correlação entre estas variáveis foi relativamente baixa ($r = 0,37$), dessa forma, pode ser que grande parte do peso das sementes em pinhão-mansão seja devido ao peso de sua casca.

Segundo Ginwal *et al.* (2005) existe ocorrência de correlações positivas entre peso das sementes e teor de óleo, assim como correlações negativas entre peso das sementes e teor de fibras e conteúdo de cinzas nas sementes. Reis *et al.* (2015) não encontraram correlação entre peso médio de sementes e produção de sementes nos acessos de pinhão-mansão estudados. Vale ressaltar que valores altos de porcentagem de área ocupada pelo endosperma na semente (POAes) não representam, necessariamente, o genótipo com maior área de endosperma (ARE), pois o genótipo que apresenta valor máximo para esta variável é o 341, e não o 384, citado anteriormente como o de maior POAes. Porém, os genótipos 341 e 384 não diferiram estatisticamente para POAes, ARE e ARS. Vale também citar o genótipo 003, que obteve a menor POAes mas com ARE acima da média.

Tabela 1. Estatística descritiva de 14 variáveis relacionadas a morfologia de sementes e ao rendimento e qualidade de óleo em 18 acessos de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) pertencentes à Coleção de Gemoplasmas de Pinhão-manso do Departamento de Fitotecnia da UFRRJ.

GEN	COS	LAS	RCL	ARS	ARE	POAes	PESe	CIS	PES	TOBu	TOBs	AGSat	AGMon	AGPol
002	1,83	1,01	1,81	1,31	0,96	75	5,94	0,45	0,69	36,84	38,19	20,26	45,98	33,68
003	1,80	1,05	1,70	1,60	1,02	64	5,07	0,66	0,72	33,09	34,82	20,80	48,08	30,96
004	1,87	0,96	1,94	1,45	1,01	70	5,80	0,46	0,68	38,88	40,51	20,67	38,33	40,94
341	1,79	1,03	1,72	1,61	1,18	73	5,07	0,62	0,82	37,22	38,73	20,60	46,66	32,55
342	1,83	1,04	1,74	1,43	1,13	78	5,67	0,52	0,78	38,86	40,71	20,12	45,87	33,86
345	1,78	1,01	1,75	1,35	1,02	76	5,95	0,42	0,74	41,94	43,49	20,71	47,29	31,93
348	1,79	1,03	1,73	1,29	1,03	80	5,32	0,51	0,68	37,72	39,56	20,19	44,77	34,90
356	1,78	1,02	1,73	1,36	1,03	76	5,41	0,52	0,68	38,44	40,41	20,28	47,37	32,12
370	1,78	1,02	1,73	1,31	0,97	74	4,83	0,63	0,73	41,88	43,89	20,82	45,43	33,56
376	1,80	1,04	1,73	1,44	1,03	72	5,23	0,58	0,73	36,78	38,26	20,49	47,52	31,86
384	1,91	0,92	2,08	1,27	1,10	87	5,12	0,55	0,76	40,46	42,13	20,75	37,98	41,19
385	1,77	0,97	1,82	1,32	0,93	71	5,31	0,53	0,79	32,32	33,82	22,90	46,86	30,07
860	1,71	0,98	1,74	1,23	0,90	73	4,38	0,73	0,73	35,71	36,95	20,00	46,04	33,88
875	1,78	1,04	1,71	1,24	0,82	66	4,48	0,70	0,67	31,39	33,08	20,38	46,81	32,59
876	1,77	1,04	1,69	1,31	0,88	67	5,03	0,59	0,77	38,10	39,73	20,62	44,95	34,32
907	1,82	1,03	1,75	1,42	0,98	69	5,15	0,57	0,75	34,05	35,58	20,24	21,00	20,42
908	1,82	1,07	1,69	1,40	0,96	68	4,97	0,64	0,74	39,03	40,66	47,68	43,78	44,63
909	1,83	1,09	1,68	1,41	0,97	69	4,58	0,71	0,77	34,16	35,93	31,92	35,06	34,81
IC _(0,05)	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,06	0,21	0,04	0,02	1,55	1,50	3,06	2,77	3,12
Média	1,80	1,02	1,77	1,38	1,00	72,55	5,19	0,58	0,74	37,05	38,70	22,75	43,33	33,80
Mínimo	1,71	0,92	1,69	1,23	0,82	64,44	4,38	0,42	0,68	31,39	33,08	20,01	21,00	20,42
Máximo	1,91	1,09	2,09	1,62	1,18	86,68	5,95	0,73	0,82	41,94	43,89	47,68	48,08	44,64
CV _(%)	2,46	4,09	5,69	7,88	8,83	7,42	8,85	15,60	5,55	8,34	8,15	29,87	15,42	15,05

Legenda: COS- Comprimento da semente; LAS- Largura da semente; RCL- Relação COS/LAS; ARS- área da semente; ARE-Área do endosperma; POAes-Porcentagem da ocupação da área do endosperma na semente; PESe-Perímetro da semente; CIS-Circularidade da semente; PES-Peso da semente em gramas; TOBu-Teor de óleo (% na base úmida) TOBs-Teor de óleo (% na base seca); AGSat-Ácidos graxos saturados; AGMon-Ácidos graxos monoinsaturados; AGPol-Ácidos graxos poli-insaturados. IC_(0,05)-Intervalo de confiança ao nível de 5% de probabilidade; CV_(%)-Coeficiente de variação em porcentagem.

De posse desses resultados, conclui-se que o aumento do tamanho da semente não necessariamente implica em aumento da área do endosperma.

De acordo com Rocha *et al.* (2012) é possível supor que 38% do peso da semente de pinhão-manso é devido a casca, e 62%, ao endosperma. As diferenças de tamanho de endosperma no presente estudo não podem ser explicadas pela deterioração de sementes no campo, visto que os frutos foram colhidos na cor verde-amarela. Mas um eventual consumo de reservas na semente deve ser computado único e exclusivamente pelas diferenças genéticas entre os genótipos avaliados, que levam a respostas distintas no ambiente.

Com base na descrição apresentada na Tabela 1, observa-se quanto às variáveis referentes à qualidade de óleo, que a maior variação entre os genótipos estudados foi para o conteúdo de ácidos graxos saturados (AGSat), monoinsaturados (AGMon) e poli-insaturados (AGPol), respectivamente com coeficientes de variação estimados em 29,87, 15,42 e 15,05%.

Segundo Akbar *et al.* (2009) o óleo vegetal ideal para a produção de biodiesel deve conter reduzida saturação e baixa poli-insaturação, ou seja, deve ser rico em ácido graxo monoinsaturado. De acordo com esses autores a monoinsaturação do óleo de *J. curcas* é superior à apresentada pelos óleos de soja, palma e girassol, portanto, pode-se supor que o óleo do pinhão-manso seja qualidade superior ao óleo das referidas espécies.

Nos programas de melhoramento da cultura, deve-se buscar sempre a elevação da concentração de ácidos graxos monoinsaturados e a redução dos polinsaturados no óleo dos indivíduos de pinhão-manso selecionados. Porém, com base no presente trabalho, nota-se na Tabela 2 que existe uma correlação relativamente baixa entre ácidos graxos monoinsaturados (AGMon) e poli-insaturados (AGPol) ($r = 0,28$), e por ser positiva, há uma tendência de que o aumento de AGMon provoque o aumento de AGPol e vice-versa.

Tal comportamento tende a dificultar o aumento de AGMon em detrimento de AGPol, mas há que ressaltar que a referida correlação é um tanto quanto baixa. Observa-se na Tabela 1 que a média para AGMon foi de 43,33%, e o mínimo e máximo encontrados nos genótipos analisados foram de 48,08 e 21,0%, respectivamente. Os genótipos 003 apresentaram os maiores valores de AGMon, e os genótipos 907 apresentaram os menores valores de AGPol.

Considerando os teores de óleo mensurados na base seca (TOBs) e úmida (TOBu) observou-se reduzidos coeficientes de variação, respectivamente estimados em 8,34 e 8,15% (Tabela 1) e, portanto, baixa variação, principalmente, quando comparado AGSat, AGMon e AGPol, referentes a qualidade do óleo. O menor TOBs foi estimado em 33,08, e o maior, em 43,89%, e sua média foi de 38,70%. Os genótipos com maior TOBs foram: 370 e 345.

Em estudos sobre a composição química das sementes de *J. curcas* provenientes da Malásia os ácidos graxos saturados, monoinsaturados e poli-insaturados foram quantificados respectivamente em 21,6, 45,4 e 33 % (AKBAR *et al.*, 2009), valores semelhantes foram mensurados por Ferrari *et al.* (2009), sendo 20,2% de ácidos graxos saturados, 45,6% de ácidos graxos monoinsaturados e 34,0% de ácidos graxos poli-insaturados, dados obtidos em genótipos de diferentes origens.

Tabela 2. Coeficientes da correlação de Pearson entre 14 variáveis obtidas em 18 acessos de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) pertencentes a Coleção de Germoplasma do Departamento de Fitotecnia da UFRRJ.

Variável	COS	LAS	RCL	ARS	ARE	POAes	PESe	CIS	PES	TOBu	TOBs	AGSat	AGMon	AGPol
COS	1,00	-0,25	0,67	0,18	0,41	0,31	0,37	-0,33	0,00	0,23	0,23	0,15	-0,43	0,40
LAS		1,00	-0,88	0,37	-0,10	-0,54	-0,23	0,37	0,04	-0,21	-0,19	0,40	0,02	-0,20
RCL			1,00	-0,19	0,27	0,57	0,32	-0,41	-0,02	0,27	0,25	-0,22	-0,23	0,36
ARS				1,00	0,59	-0,32	0,19	0,02	0,34	-0,08	-0,08	0,08	-0,05	-0,14
ARE					1,00	0,55	0,42	-0,33	0,37	0,44	0,44	-0,14	-0,00	0,07
POAes						1,00	0,31	-0,43	0,04	0,58	0,58	-0,26	0,05	0,25
PESe							1,00	-0,95	-0,10	0,42	0,41	-0,23	0,08	0,01
CIS								1,00	0,14	-0,46	-0,45	0,29	-0,03	-0,00
PES									1,00	0,02	0,01	0,13	-0,12	-0,12
TOBu										1,00	0,99	0,03	0,13	0,45
TOBs											1,00	0,03	0,13	0,45
AGSat												1,00	-0,09	0,51
AGMon													1,00	0,28
AGPol														1,00

Legenda - COS: Comprimento da semente; LAS: Largura da semente; RCL: Relação COS/LAS; ARS: área da semente; ARE: área do endosperma; POAes: Porcentagem da ocupação da área do endosperma na semente; PESe: perímetro da semente; CIS: circularidade da semente; PES: peso da semente em gramas; TOBu: Teor de óleo (% na base úmida) TOBs: Teor de óleo (% na base seca); AGSat: Ácidos graxos saturados; AGMon: Ácidos graxos monoinsaturados; AGPol: Ácidos graxos poli-insaturados. *, ** Significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

Na Tabela 2, observa-se que o teor de óleo na base seca (TOBs) apresentou baixas correlações com concentração de ácidos graxos saturados (AGSat) e monoinsaturados (AGMon) no óleo das sementes avaliadas. Porém, a correlação entre TOBs e concentração de ácidos graxos poli-insaturados (AGPol) foi estimada em 0,45. Essas estimativas indicam que o aumento do teor de óleo na semente não eleva a qualidade do mesmo. Porém, há uma tendência deste aumento conduzir a uma redução da qualidade do óleo quando a finalidade é a produção de biodiesel.

Vale ressaltar que pesquisas desta natureza devem ser implementadas rapidamente, afim de que, genótipos selecionados para alto rendimento de óleo nas sementes não venham acompanhados de óleo de baixa qualidade para produção de biodiesel. Vale também informar que os resultados aqui obtidos se referem aos germoplasmas avaliados no presente trabalho, e qualquer generalização deve ser acompanhada de muita cautela.

Comparando-se o teor e qualidade de óleo nas sementes quando o objetivo é a produção de biodiesel, verifica-se com base nos resultados acima apresentados, que o teor de óleo possui base genética mais estreita que a qualidade do óleo. Por haver variabilidade para o caráter é de suma importância buscar o aumento da qualidade de óleo nos programas de melhoramento do pinhão-manso, visto que esta variável se apresenta com potencial para a melhoria.

Apesar da reduzida variabilidade para o caráter teor de óleo, quando comparado com a qualidade de óleo, é necessário mencionar que o aumento de um mínimo percentual de óleo nas sementes pode acarretar um grande aumento de produção de óleo na planta e no campo, dado o grande número de sementes produzidas numa planta. De acordo com Reis *et al.* (2013) o número de sementes encontradas nas plantas trabalhadas foi em média de 673. Dessa forma, quanto aos aspectos relacionados ao óleo, os programas de melhoramento do pinhão-manso devem priorizar não somente a qualidade, mas também o rendimento.

4.2 Aspectos relevantes às colheitas

Para todas as variáveis aqui analisadas não se observaram diferenças estatísticas entre as médias de cada colheita, independentemente do genótipo. Porém, observa-se claramente na Tabela 3 que a área das sementes (ARS) aumentaram na terceira colheita. Fato semelhante também foi observado para a área de endosperma da semente (ARE), porém, para a porcentagem de endosperma nas sementes (POAes) houve, na média, redução na terceira colheita. Verifica-se, portanto que o aumento da área do endosperma nas sementes não foi tão evidente ou alto quanto o aumento do tamanho da semente propriamente dito. Nota-se na Tabela 2 a correlação negativa entre ARS e POAes, estimada em -0,32. Vale informar que o peso das sementes (PES) foi levemente alterado entre as colheitas (dados não mostrados).

Também é importante salientar que, no geral, o aumento do tamanho das sementes e do endosperma não se traduziu em aumento no rendimento de óleo produzido na semente. Na Tabela 3 percebe-se que TOBs apresentou média menor na terceira colheita ($\bar{X} = 37,32$). Interessante também observar que no caso do teor de óleo as maiores médias ocorreram na segunda colheita, que se deu no final do mês de janeiro do ano de 2011. De acordo com Reis (2013) o pico da colheita em pinhão-manso na região de Seropédica é, via de regra, no final do mês de janeiro.

Quando a abordagem sobre as variáveis ARS, ARE e POAes deixa de ser geral e passa a ser individual, sobre o genótipo, nota-se que nenhum genótipo avaliado seguiu rigorosamente o padrão geral mencionado anteriormente, ou seja, na terceira colheita, ARS e ARE aumenta e POAes reduz. O genótipo 003 (Figura 1) expressa bem o relato anterior.

Na Tabela 3, percebe-se que a área do endosperma das sementes (ARE) da primeira colheita foi superior, estatisticamente, à ARE das segunda e terceira colheitas. Porém, a área da semente (ARS) aumentou na terceira colheita, seguindo o padrão geral para a variável.

Sementes maiores e endospermas menores são a causa de um menor POAes

(porcentagem de área ocupada pelo endosperma na semente). Tal resultado pode ser observado no genótipo 003 que para a variável POAes foram estimados em 72,55, 69,0 e 51,42% na primeira, segunda e terceira colheitas, respectivamente. Além da redução da área do endosperma (ARE) e da porcentagem de área ocupada pelo endosperma (POAes) na terceira colheita, também pode-se observar a redução do teor de óleo (TOBs).

O genótipo 909 passou de uma área de endosperma (POAes) que ocupava 63,7% na primeira colheita, para uma área 73,8% na terceira colheita (Tabela 3), representando um aumento aproximado de 10%. Neste caso, para que o genótipo tivesse esse expressivo aumento, a área de endosperma (ARE) também aumentou na terceira colheita, passando de 0,87 para 1,09 cm².

Em alguns casos, observou-se, ao invés do aumento, mas a redução da área da semente (ARS) e endosperma (ARE) na terceira e segunda colheita, respectivamente, como por exemplo, no genótipo 356 (Tabela 3 e Figura 3). Neste caso, como houve a redução tanto da área da semente quanto do endosperma, a porcentagem de ocupação da semente pelo endosperma (POAes) manteve-se, estatisticamente, inalterada.

Sem dúvida o genótipo 875 foi o que apresentou maior problema na formação do endosperma da semente na terceira colheita. Comparando-se a primeira colheita com a terceira, na Tabela 3 e Figura 1 é possível notar que houve uma nítida redução de ARE no genótipo 875. Como a área da semente (ARS) não foi reduzida como ARE, a porcentagem de ocupação do endosperma na semente (POAes) teve a maior queda entre os genótipos avaliados, de 22,94%. Apenas o genótipo 875 apresentou sementes vazias. Foi verificado que 10% das sementes estavam vazias na terceira colheita (Figura 1).

É muito interessante observar que genótipos (003, 385, 875 e 907) que produziram teores máximos de 29,1% de rendimento de óleo (TOBs) na terceira colheita, apresentaram áreas de endosperma (ARE) de no máximo 0,94 cm², na respectiva colheita (Tabela 3). As duas estimativas citadas encontram-se abaixo da média geral, que são, respectivamente, de 38,7% e 1,0 cm² (Tabela 1).

Tabela 3. Médias referentes a quatro variáveis relacionadas à morfologia de sementes (ARS, ARE e POAes) e teor de óleo (TOBs) mensuradas em 3 épocas de colheita, primeira e segunda quinzenas de janeiro e primeira quinzena de fevereiro de 2012, observadas em 18 acessos pertencentes à Coleção de Germoplasmas de Pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) do Departamento de Fitotecnia da UFRRJ.

GEN	ARS			ARE			POAes			TOBs		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
002	1,21b	1,20b	1,53a	0,99a	0,94a	0,97a	81,57a	79,30a	63,57b	38,00	40,02	36,57
003	1,52b	1,47b	1,83a	1,10a	1,01b	0,94b	72,55a	69,00b	51,42c	37,63	43,86	22,98
004	1,53a	1,30b	1,52a	1,03b	0,89c	1,11a	67,43b	68,21b	73,07a	39,42	37,93	44,20
341	1,49c	1,63b	1,73a	1,08b	1,14b	1,33a	72,77b	69,67b	77,26a	38,24	39,03	38,94
342	1,36b	1,30c	1,66a	0,78c	1,04b	1,59a	55,91c	80,87b	95,47a	33,69	44,70	43,75
345	1,24b	1,27b	1,56a	0,95b	0,95b	1,19a	76,52a	74,54a	75,92a	41,07	43,24	46,17
348	1,28b	1,27b	1,34a	1,13a	1,03b	0,93c	88,48a	81,21b	69,54c	38,73	41,55	38,40
356	1,48a	1,23c	1,40b	1,11a	0,94c	1,05b	75,44a	76,64a	74,90a	38,01	43,45	39,80
370	1,23b	1,22b	1,48a	0,90b	0,77c	1,27a	72,52b	63,01c	85,57a	40,41	46,55	44,72
376	1,35b	1,40b	1,60a	0,99b	0,99b	1,14a	73,41a	70,50a	71,43a	37,97	38,49	38,34
384	1,19c	1,29b	1,34a	1,00c	1,11b	1,21a	83,84b	85,74b	90,07a	40,90	42,77	42,73
385	1,20c	1,35b	1,43a	0,89b	1,03a	0,87b	74,74a	76,26a	61,16b	34,78	40,86	25,82
860	1,26a	1,16b	1,28a	0,99a	0,87b	0,85b	79,02a	75,01b	66,53c	38,68	39,60	32,60
875	1,22a	1,25a	1,26a	0,91a	0,82b	0,66c	75,15a	65,62b	52,21c	36,75	36,61	25,88
876	1,24b	1,26b	1,43a	0,89b	0,78c	0,98a	71,31a	62,09c	68,03b	39,94	38,30	40,96
907	1,46a	1,50a	1,32b	1,07a	1,08a	0,82b	72,69a	71,78a	61,87b	38,09	39,52	29,16
908	1,36b	1,34b	1,51a	0,91b	0,91b	1,06a	67,05b	67,54c	70,88ac	38,09	43,58	40,31
909	1,33b	1,41b	1,47a	0,87c	0,96b	1,09a	63,76b	68,42b	73,86a	30,53	36,89	40,39
Médias	1,33	1,32	1,48	0,98	0,96	1,01	74,02	72,94	72,14	37,83	40,94	37,32

Legenda: ARS: área da semente; ARE: área do endosperma; POAes: Porcentagem da ocupação da área do endosperma na semente; TOBs: Teor de óleo (% na base seca). Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste “t” para comparação de médias duas a duas. Obs.: Por não haver repetições dentro de colheita o Teste “t” não foi aplicado sobre a variável TOBs.

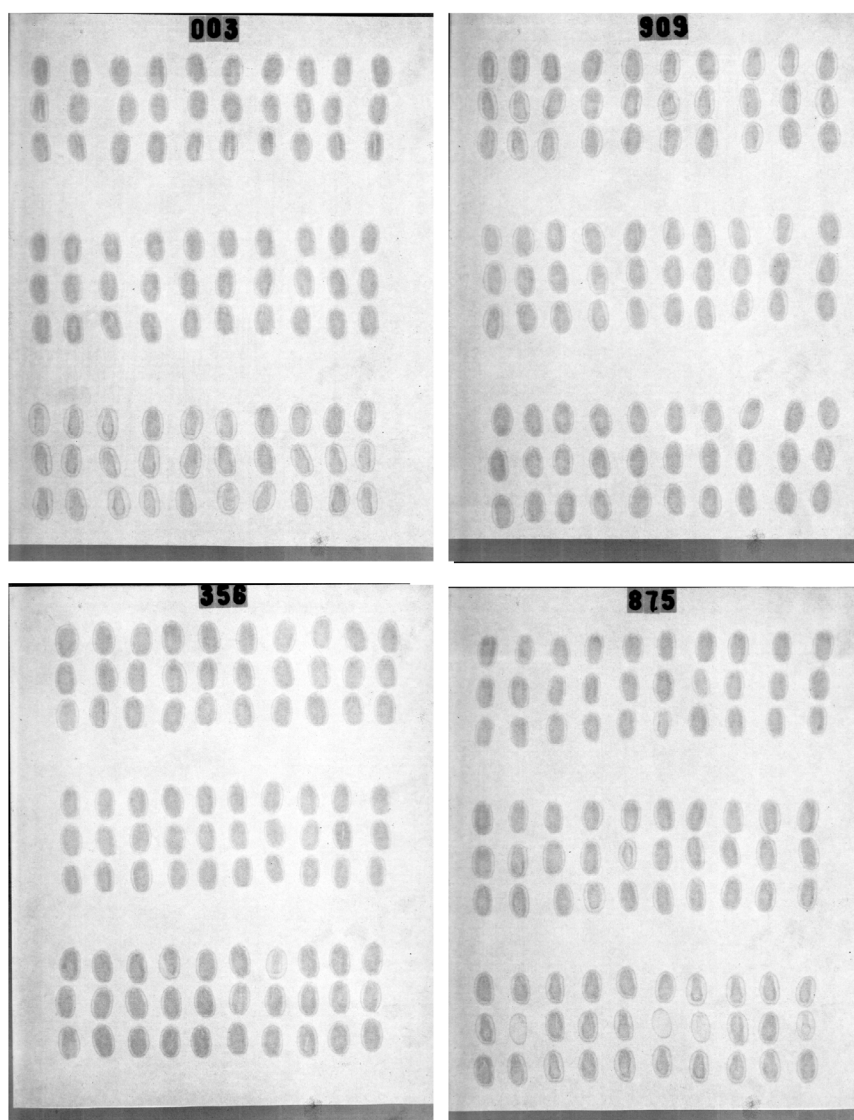


Figura 3. Lâminas de raio-X de sementes colhidas no ano de 2013 em três períodos diferentes, primeira quinzena de janeiro (porção superior da lâmina), segunda quinzena de janeiro (porção mediana da lâmina) e primeira quinzena de fevereiro, (porção inferior da lâmina) em quatro acessos de pinhão-manso pertencentes à Coleção de Germoplasma do Departamento de Fitotecnia da UFRRJ.

Por outro lado, somente em 60% dos casos, genótipos com teores de óleo (TOBs) acima de 40% corresponderam a endospermas com tamanho igual ou acima da média geral ($ARE = 1,0 \text{ cm}^2$). Portanto, as menores áreas de endosperma corresponderam aos menores teores de óleo, mas as maiores áreas não necessariamente correspondem aos maiores teores de óleo.

4.3 Aspectos relacionados à diversidade genética

Observa-se na Tabela 4 que os três primeiros componentes principais acumularam 90% da variância. Segundo Cruz *et al* (2004), em estudos sobre divergência genética, os primeiros componentes principais são utilizados quando esses envolvem pelo menos 80% da variação total. A técnica de análise por componentes principais consiste em transformar um conjunto original de variáveis em outro conjunto de dimensões equivalentes em que os componentes principais são funções lineares e independentes entre si.

Em estudos em que os dados estimados apresentam autovetores obtidos a partir da matriz de correlação, têm-se verificado a frequente eliminação do caráter de maior coeficiente,

em valor absoluto, a partir do último componente até aquele com autovalor que não exceda 0,70, de acordo com as recomendações de Jolliffe (1972 e 1973). Sendo assim, pode-se observar na Tabela 4 que, dos 14 componentes principais gerados, nove apresentaram variância inferior a 0,7, compreendendo do sexto componente principal (PC6) ao décimo quarto (PC14), desta forma as variáveis que menos contribuíram foram: PESe, TOBu, ARS, RCL, PES, COS, CIS, ARE e LAS respectivamente na ordem do sexto para o décimo quarto componente principal.

Observa-se ainda, que a variável ácido graxo saturado (AGSat) foi a de maior peso na estimação da diversidade genética entre os genótipos de pinhão-manso avaliados, com variação relativa de 35,10%, seguida pela variável ácido graxo monoinsaturado (AGMon) que foi estimada em 32,25% e o terceiro componente principal foi novamente estimada pelo AGMon com 22,98% de variação, resultando em uma variação acumulada de 90,33%.

Porém, pode-se verificar ainda na Tabela 4 que os autovetores, em valores absolutos para esse componente principal, foi da ordem de 0,66 e 0,62 para AGMon e POAes (porcentagem de ocupação da área do endosperma na semente), respectivamente. Uma vez que a variável POAes é de suma importância no estudo da diversidade genética devido à característica de armazenamento do óleo e de total relevância no estudo via análise digital de imagens, pode-se dizer que essa é uma variável que contribui com peso significativo para o terceiro componente principal.

Levando-se em consideração os maiores autovetores associados aos componentes principais de autovalores inferiores a 0,70, ainda podemos destacar as variáveis teor de óleo na base seca (TOBs) e ácidos graxos poli-insaturados (AGPol) também sendo importantes para a diversidade estimada. TOBs e AGPol apresentaram autovetores 0,58 e 0,78 nos componentes principais 4 e 5, respectivamente (Tabela 4).

Pode-se verificar que, de acordo com a metodologia proposta por Jolliffe (1972 e 1973), as características que melhor explicam a dispersão dos genótipos, são variáveis ligadas diretamente à produção e qualidade de óleo. Em estudo sobre a diversidade genética de pinhão-manso Reis *et al.* (2015) constataram que o teor de óleo se apresentou como um dos principais componentes da produtividade em *Jatropha curcas*, fato também observado por Spinelli *et al.* (2010).

De acordo com o gráfico de dispersão referente aos componentes principais (Figura 4), pode-se observar um grande aglomerado contendo cerca de 78% dos genótipos (002, 003, 004, 341,342, 345, 348, 356, 370, 376, 385, 860, 875 e 876). Os genótipos 384, 907, 908 e 909 foram os que mais se dispersaram do referido aglomerado.

Verifica-se na Tabela 5 que o agrupamento por otimização realizado pela análise de Tocher indicou a formação de cinco grupos. No grupo 1 foram alocados 61% dos genótipos. O segundo grupo formado pela metodologia de Tocher incluiu os genótipos 860, 875 e 909, o terceiro, agrupou os genótipos 004 e 384, o quarto e quinto, apenas um genótipo cada, 908 e 907, respectivamente.

Tabela 4. Estimação de autovalores com sua respectiva contribuição relativa, variância acumulada em cada autovalor e autovetores associados aos componentes principais obtidos a partir de 14 descritores relacionados a morfologia de sementes, rendimento e qualidade de óleo mensurados em 18 acessos pertencentes à Coleção de Germoplasma de Pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) do Departamento de Fitotecnia da UFRRJ.

Descritores	Autovetores													
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11	PC12	PC13	PC14
COS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	-0,09	0,04	0,15	-0,02	0,77	-0,36	0,16	-0,46
LAS	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,12	0,00	-0,38	0,10	0,39	-0,31	-0,09	0,76
RCL	0,00	0,00	0,01	-0,01	0,02	0,06	0,11	0,04	0,87	-0,18	0,08	-0,03	-0,01	0,43
ARS	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,08	-0,36	0,71	0,01	-0,20	-0,10	-0,14	-0,54	-0,10
ARE	0,00	0,00	0,01	0,00	-0,01	0,05	-0,26	0,49	-0,03	0,01	-0,12	0,06	0,81	0,13
POAes	-0,04	0,46	0,62	-0,56	-0,31	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00
PESe	-0,01	0,02	0,02	0,04	-0,02	0,97	-0,03	-0,09	-0,06	0,02	0,06	0,18	-0,03	0,02
CIS	0,00	0,00	-0,01	-0,01	0,00	-0,17	-0,05	0,14	-0,06	-0,11	0,46	0,84	-0,10	0,07
PES	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,02	0,20	0,19	0,95	0,02	0,08	-0,12	-0,02
TOBu	0,12	0,23	0,29	0,57	-0,13	0,01	0,63	0,31	-0,11	-0,05	0,05	-0,05	0,02	0,00
TOBs	0,12	0,23	0,29	0,58	-0,14	-0,08	-0,61	-0,30	0,12	0,04	-0,05	0,05	-0,02	0,00
AGSat	0,80	-0,38	-0,01	-0,12	-0,46	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AGMon	0,19	0,70	-0,66	-0,04	-0,22	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AGPol	0,55	0,24	0,16	-0,11	0,78	0,01	-0,01	0,00	-0,02	0,01	-0,01	0,00	0,00	0,00
λ_j	7,62	7,30	6,17	2,88	2,75	0,41**	0,14**	0,12**	0,05**	0,03**	0,02**	0,01**	0,00**	0,00**
λ_j (%)	35,10	32,25	22,98	4,99	4,55	0,10	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
λ_j (%)	35,10*	67,35*	90,33*	95,32	99,87	99,97	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Legenda - COS: Comprimento da semente; LAS: Largura da semente; RCL: Relação COS/LAS; ARS: área da semente; ARE: área do endosperma; POAes: Porcentagem da ocupação da área do endosperma na semente; PESe: perímetro da semente; CIS: circularidade da semente; PES: peso da semente em gramas; TOBu: Teor de óleo (% na base úmida) TOBs: Teor de óleo (% na base seca); AGSat: Ácidos graxos saturados; AGMon: Ácidos graxos monoinsaturados; AGPol: Ácidos graxos poli-insaturados. *, ** Valores em negrito relativos aos critérios de Cruz e Carneiro (2003), para a representação gráfica, e Jolliffe (1972 e 1973), para o descarte de caracteres, respectivamente. λ_j : Autovalores; λ_j (%): Contribuição relativa de cada autovalor, em porcentagem; λ_j (%): Variância acumulada em cada autovalor, em porcentagem.

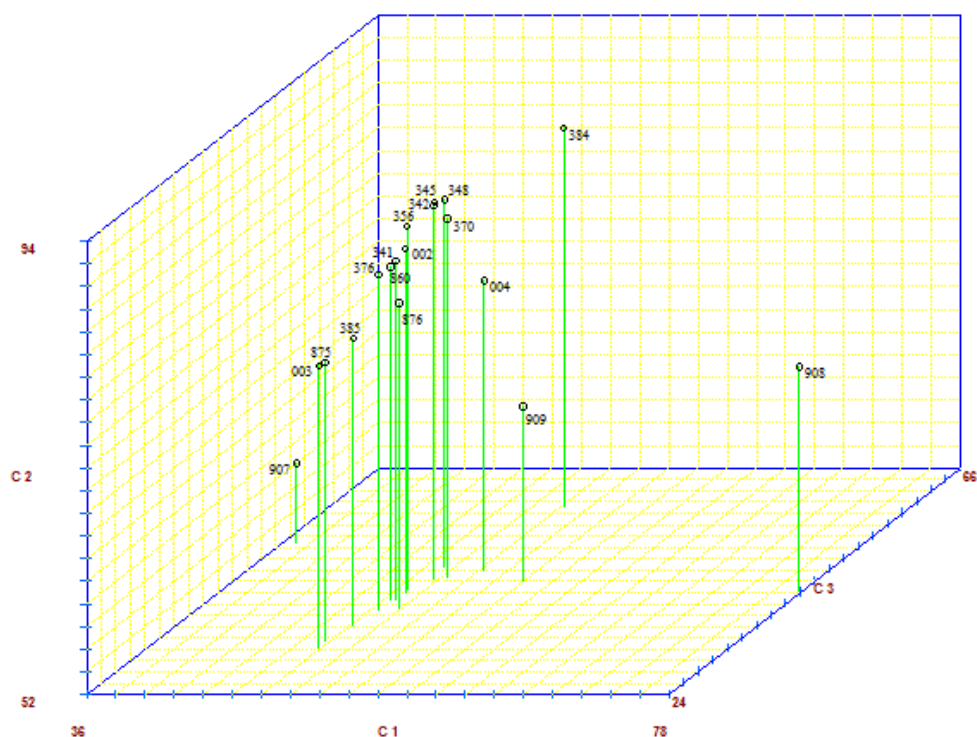


Figura 4. Dispersão entre 18 acessos de *Jatropha curcas* L. com base em características morfo-agronômicas e relacionadas ao teor e qualidade de óleo estimada por componentes principais.

Observa-se de forma geral a semelhança na dispersão realizada via análise dos componentes principais e o agrupamento via Tocher (Figura 4 e Tabela 5, respectivamente). Ambas as metodologias formaram um grande grupo contendo, em comum, os genótipos 002, 003, 341, 342, 345, 348, 356, 370, 376, 385 e 876, ou seja, 61% dos genótipos avaliados. Essas duas metodologias também indicaram que os genótipos 907 e 908 são os mais divergentes. Em Tocher, os genótipos 004 e 384 foram alocados no grupo 3, e na análise dos componentes principais, estes também apresentaram certa proximidade. Os referidos relatos indicam muita semelhança entre a dispersão realizada pela análise dos componentes principais e do agrupamento obtido pela metodologia de Tocher.

Segundo a metodologia proposta por Kelley, Gardner e Sutcliffe (1996), houve a formação de cinco grupos quando foi utilizado o método de agrupamento por hierarquização via UPGMA (Figura 5). Com isso, foi possível verificar uma grande semelhança aos cinco *clusters* gerados pela otimização de Tocher (Figura 5 e Tabela 5, respectivamente). A combinação da distância Euclidiana e o método UPGMA obtiveram uma correlação entre a matriz fenética e cofenética estimada em 0,96, significativa ao nível de 1% pelo Teste de Mantel, sendo que, o considerado ideal é um coeficiente de correlação cofenético maior que 0,56 (VAZ PATTO *et al.*, 2004).

Tabela 5. Grupos formados a partir do método de agrupamento de Tocher para a variabilidade genética observada em 18 acessos de *Jatropha curcas* L. da Coleção de Germoplasma do Departamento de Fitotecnia da UFRRJ.

Grupos	Acessos UFRRJ
1	002/003/341/342/345/348/356/370/376/385/ 876
2	860/875/909
3	004/384
4	908
5	907

No dendrograma apresentado na Figura 5 nota-se a formação de um grande grupo contendo 67% dos genótipos (348, 356, 376, 002, 342, 345, 370, 876, 004, 003, 909 e 341). O segundo maior grupo foi formado pelos genótipos 860, 875 e 385, e os três outros, cada um deles apenas com um genótipo, foram: o 907, 908 e 384. O genótipo mais distante dos demais foi o 384, e em menor distância, mas ainda bastante divergentes dos demais estão os genótipos 907 e 908. Os genótipos menos divergentes foram o 348, 356 e 376, sendo os dois primeiros mais próximos, e todos eles foram alocados no maior grupo formado.

Comparando-se as três metodologias utilizadas para se conhecer a diversidade genética dos genótipos, com base nas variáveis morfológicas das sementes, teor e qualidade do óleo, tem-se que os genótipos 907 e 908 são realmente os mais divergentes. Os genótipos 002, 341, 342, 345, 348, 356, 370, 376 e 876, ou seja, 50% dos genótipos, foram os menos divergentes visto que foram agrupados no maior grupo nas três metodologias utilizadas, componentes principais, Tocher e UPGMA (Tabela 6).

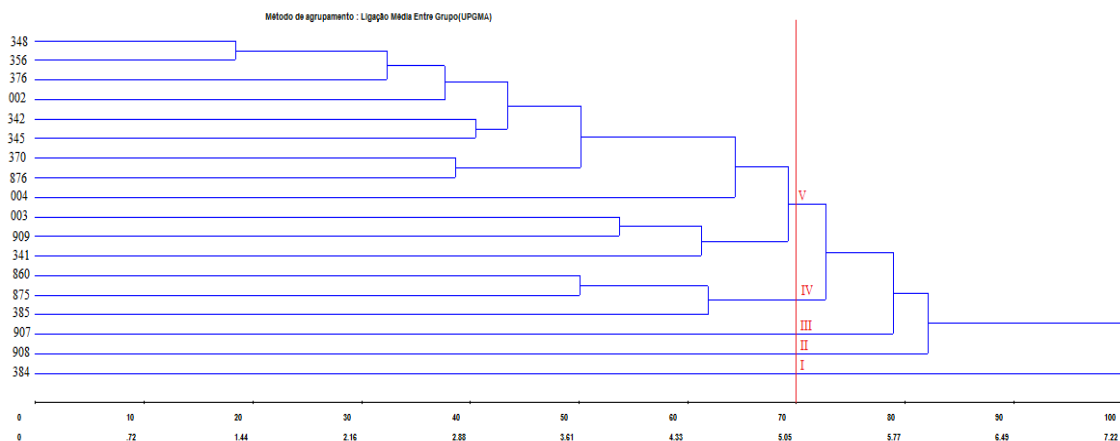


Figura 5. Dendrograma gerado a partir da distância Euclidiana combinada ao método de agrupamento UPGMA em 18 acessos de *Jatropha curcas* L. da Coleção de Germoplasma do Departamento de Fitotecnia da UFRRJ.

Portanto, notou-se que dos 18 genótipos avaliados, 11 deles, ou 61%, apresentaram o mesmo padrão de agrupamento nas distintas metodologias utilizadas para se conhecer a diversidade genética entre os genótipos para os caracteres estudados. Tal constatação pode indicar que a diversidade genética para as variáveis morfológicas das sementes, bem como o rendimento e qualidade de óleo, possa ser classificada como mediana.

Como já dito anteriormente, as variáveis que mais contribuíram para a organização dos grupos em comum acima referidos foram as características relacionadas principalmente a qualidade e teor de óleo, como ácidos graxos saturados (AGSat) e monoinsaturados (AGMon) e porcentagem de área ocupada pelo endosperma na semente (POAes). Reis *et al.* (2015) e Laviola *et al.* (2010) trabalhando com vários caracteres morfológicos e de produção encontraram alta diversidade genética nos acessos de pinhão-manso estudados. Via de regra quando aspectos genotípicos são tratados a literatura tem relatado baixa diversidade genética para o pinhão-manso (CHEN *et al.*, 2011; ROSADO *et al.*, 2010; SUN *et al.*, 2008).

Uma possível causa para a estreita variabilidade do germoplasma encontrado no Brasil, pode estar relacionada à sua origem a partir de um ancestral comum, também explicado pela intensa seleção sobre o material cultivado, desde sua introdução no país (Rosado *et al.*, 2010). Basha & Sujatha (2007) e Rao *et al.* (2008) registraram baixos níveis de diversidade quando observaram germoplasma indiano de *J. curcas*. Os genótipos chineses, observados por meio de marcadores AFLP também apresentaram uma variabilidade genética limitada (ZHANG *et al.*, 2011). Em geral, de acordo com Rosado *et al.* (2010), há uma variação limitada nos recursos de germoplasma de *J. curcas* em vários países, como também apresentados por Kumar *et al.*, 2009, Pamidimarri *et al.*, 2009 e Subramanyam *et al.*, 2009).

Tabela 6. Agrupamentos em comum formados a partir da Análise de Componentes Principais (ACP), método de agrupamento de Tocher e UPGMA, para a variabilidade genética observada em 18 acessos de *Jatropha curcas* L. da Coleção de Germoplasma do Departamento de Fitotecnia da UFRRJ.

Grupos	Genótipos em comum (ACP/Tocher/UPGMA)	Genótipos de destaque
1	002/341/342/345/348/356/370/376/876	345/370
2	908	908
3	907	907

Considerando as variáveis importantes no agrupamento e apenas os genótipos agrupados em comum nas três metodologias para análise da diversidade, observa-se que o genótipo 908, um dos mais divergentes, destacou-se muito dos demais para o rendimento de óleo (TOBs) e produção de ácidos graxos monoinsaturados (AGMon). Porém, observa-se para este genótipo a maior produção de ácidos graxos poli-insaturados (AGPol), reduzindo assim a qualidade de seu óleo para produção de biodiesel. O genótipo 907 pode-se observar que além de possuir baixo rendimento de óleo (TOBs) obteve baixíssima produção de AGMon, principal variável para produção de biodiesel de boa qualidade.

Considerando o maior agrupamento em comum, pode-se observar que os genótipos 345 e 370 foram os que obtiveram maior rendimento de óleo, maior produção de AGMon e menor de AGPol, características desejáveis para a produção de biodiesel de boa qualidade. Observa-se que o genótipo 384 é o que apresentou maior porcentagem de área de endosperma na semente (POAes), da ordem de 86,6%, porém, apresentou-se com baixa produção de AGMon (37,98) e alta produção de AGPol (41,19). O genótipo 004 apresentou comportamento semelhante ao 384 com médias de 38,33 e 40,94 para AGMon e AGPol, respectivamente, diferindo por possuir menor POAes (69,5%).

A Figura 6, mostra os índices de diversidade estimados pelo algoritmo ANOSIM, proposto por Clarke e Green (1988) considerando apenas os caracteres morfológicos das sementes. Com base nestas estimativas, percebe-se que a diversidade genética entre os genótipos alcançou um patamar mediano da ordem de 662.366,50. Este resultado está de acordo com os resultados encontrados para as análises de diversidade estimadas via dispersão e agrupamentos hierárquico e de otimização utilizadas no presente trabalho, onde, ambas as metodologias apontam para uma diversidade mediana ou mesmo limitada.

Os índices de diversidade estimados via algoritmo ANOSIM dizem respeito apenas aos caracteres morfológicos das sementes, enquanto que as análises de dispersão e agrupamento, além destes, também dizem respeito ao rendimento e qualidade do óleo nas sementes. Dos 18 genótipos avaliados, 14 ficaram com estimativas de dissimilaridade inferiores à média geral, são eles: 345, 907, 376, 004, 908, 356, 384, 876, 341, 860, 003, 385, 909 e 002, respectivamente em ordem crescente para o índice. Vale destacar que os nove primeiros genótipos citados, apresentaram índices de diversidade abaixo de 500.000,0, como por exemplo, o genótipo 345, com índice de diversidade estimado em apenas 308.334,0. Os genótipos 370, 348, 875 e 342 apresentaram índices de dissimilaridade superiores à estimativa média, respectivamente de 699.499,0, 705.476,0, 813.124,0 e 969.242,0.

No presente caso, índices de diversidades baixos podem indicar maior estabilidade quanto aos aspectos morfológicos mensurados nas sementes produzidas nos genótipos avaliados. Plantas com índices baixos podem apresentar maior uniformidade no tamanho, comprimento e largura das sementes, além de estabilidade na formação do endosperma destas sementes. Índices baixos de diversidade podem indicar níveis de fixação de alelos superiores às plantas com índices altos, e assim, apresentarem paras as características morfológicas avaliadas, menor interação com o ambiente. Portanto, estes índices podem ser utilizados de forma muito vantajosa no melhoramento do pinhão-mansó, visando, no presente caso, selecionar plantas com estabilidade na formação da semente e do endosperma destas.

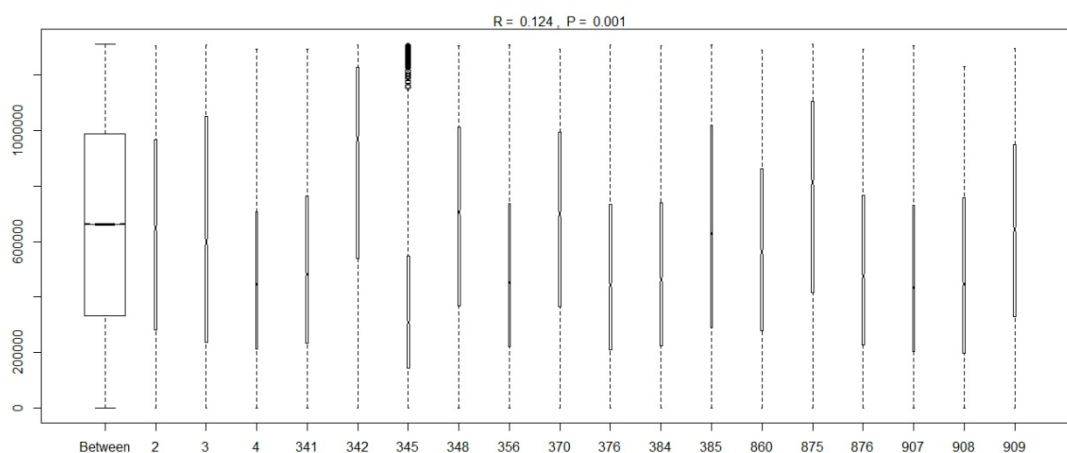


Figura 6. “Boxplots” representando a diversidade genética obtida via algoritmo ANOSIM, utilizando-se a distância Euclideana e o método UPGMA, entre e dentro de acessos de pinhão-mansó (*Jatropha curcas* L.) pertencentes à Coleção de Germoplasmas do Departamento de Fitotecnia da UFRRJ.

Na Tabela 3 observa-se que o genótipo 370 possui grande diferença entre as três colheitas quanto a área da semente (ARS) e do endosperma (ARE). Os genótipos 342, 348 e 875, com altos índices de dissimilaridade, exibem uma nítida diferença visual entre o tamanho

do endosperma entre as três colheitas (Figura 7). Por outro lado, os genótipos 345, 376, 004 e 908, por exemplo, evidenciam maior uniformidade quanto ARS e ARE (Tabela 3). Vale ressaltar que os índices foram estimados com base em oito variáveis morfológicas das sementes, e não somente quanto a área da semente (ARS) e do endosperma (ARE), por isso, visualmente (Figura 6), alguns genótipos apesar de índices baixos podem não exibir alta uniformidade de ARS e ARE. Como exemplo, pode-se citar o genótipo 907, cujas sementes da terceira colheita exibiram uma nítida redução da área do endosperma (Tabela 3 e Figura 7).

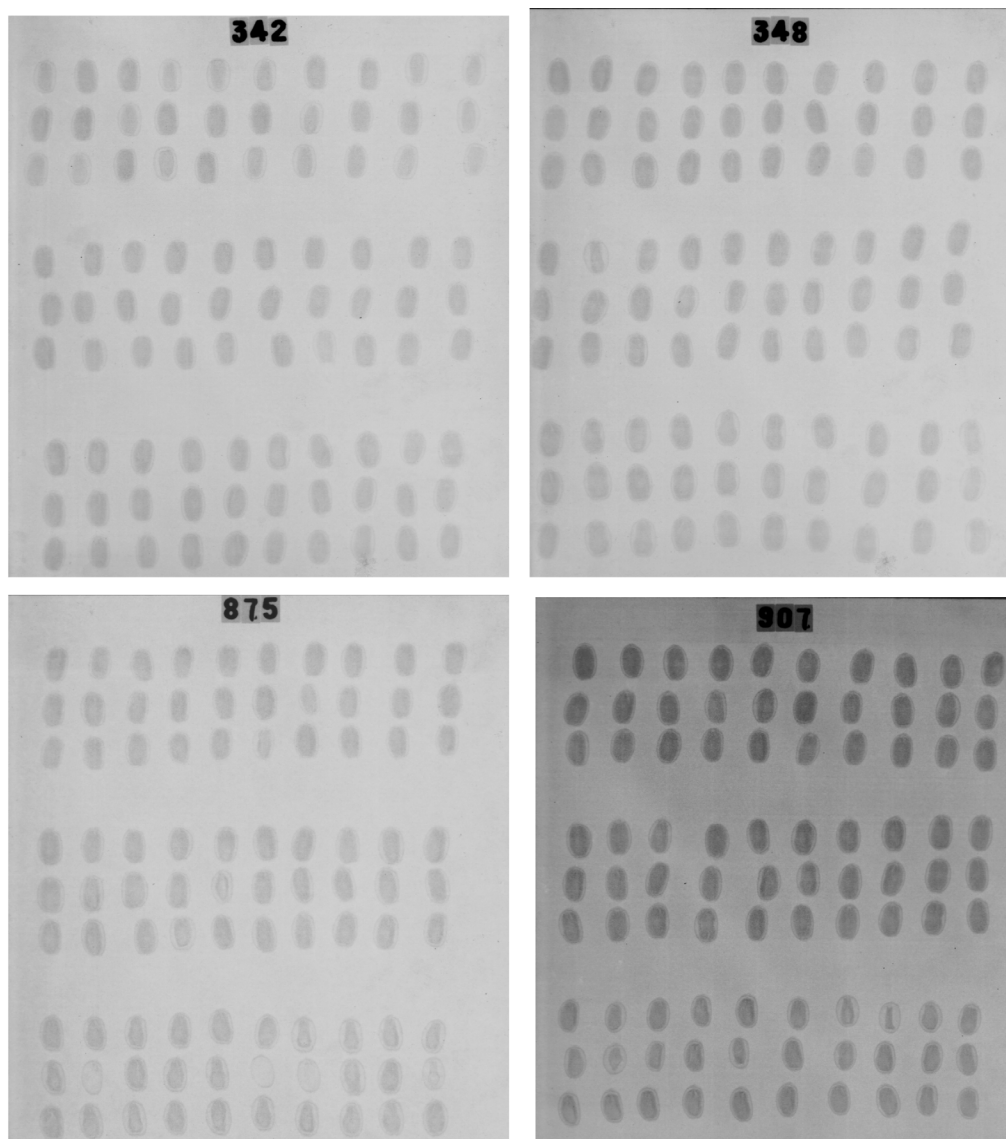


Figura 7. Lâminas de raio-X de sementes colhidas no ano de 2013 em três períodos diferentes, primeira quinzena de janeiro (porção superior da lâmina), segunda quinzena de janeiro (porção mediana da lâmina) e primeira quinzena de fevereiro, (porção inferior da lâmina) em quatro acessos de pinhão-manso pertencentes à Coleção de Germoplasma do Departamento de Fitotecnia da UFRRJ.

O genótipo 908, um dos mais divergentes no trabalho, destacou-se como um material genético muito promissor no presente trabalho, exibindo além de um alto teor de óleo (TOBs) e ácidos graxos monoinsaturados (AGMon) (Tabela 1), uma ótima uniformidade quanto a área da semente (ARS) e endosperma (ARE).

4.4 Aspectos a serem considerados no melhoramento genético do pinhão-mansó

Com base nos resultados aqui obtidos verifica-se a existência de genótipos contrastantes quanto aos aspectos ligados a morfologia interna e externa das sementes, bem como quanto ao rendimento e qualidade de óleo. Sementes maiores e menores, mais compridas ou mais largas, podem ser encontradas entre as plantas da espécie. Sementes mais arredondadas foram mais escassas entre os genótipos da Coleção da UFRRJ, fato este comprovado pelas altas estimativas da relação comprimento *versus* largura, e baixas estimativas da circularidade das sementes. A tendência é que sementes mais compridas possuam mais endosperma e, por consequência, maior teor de óleo. Sementes mais arredondadas tendem a apresentar menor área de endosperma e, portanto, menor rendimento de óleo (Tabela 2).

Outro aspecto importante a ser considerado no melhoramento é que sementes maiores não necessariamente conduzirão a endospermas maiores, ou seja, na maioria dos casos, a área do endosperma não aumentará com o aumento das sementes. Dessa forma, o aumento das sementes apenas pela visualização externa, pode não conduzir ao aumento do rendimento de óleo. Com base nesta constatação, é que se observa a importância da análise das imagens provenientes do raio-X das sementes.

De posse dos resultados aqui alcançados observou-se também que o aumento do rendimento de óleo nas sementes do pinhão-mansó pode, em alguns casos, contribuir para a redução da qualidade de óleo, que se dá pela redução dos ácidos graxos monoinsaturados.

As características das sementes devem ser apenas variáveis auxiliares a serem consideradas no melhoramento do pinhão-mansó quando se deseja o aumento da produção de óleo por hectare. Cruzamentos devem ser programados apenas a partir de genitores com alto potencial produtivo que, se for possível, conterem sementes menos circulares, de tamanho de 1,31 a 1,35 cm² que exibam alta porcentagem de área ocupada pelo endosperma e que produzam óleo de alta qualidade para a produção de biodiesel.

Devido a variabilidade genética encontrada na cultura, a seleção individual de genótipos contrastantes seguida de hibridações, com posterior, seleção e clonagem, parece ser uma alternativa adequada no melhoramento a curto prazo da cultura. Porém, o melhoramento populacional deve ser também sempre implementado, afim de que se possa explorar o real potencial da espécie. Clonagens em cada etapa de hibridações podem ser implementadas nos programas de melhoramento.

Com base nos resultados aqui obtidos observou-se que a diversidade genética entre os genótipos estudados no presente trabalho foi mediana, considerando caracteres morfológicos das sementes e características relacionadas ao rendimento e qualidade do óleo. Isso indica que existe a possibilidade de seleção de genótipos com características favoráveis ao rendimento de óleo nas sementes, porém, não se pode deixar de mencionar que a seleção, de certa forma, é limitada, pois, como já mencionado anteriormente, 50% dos genótipos permaneceram no mesmo grupo.

Com base no presente trabalho e sabendo-se a disponibilidade de variabilidade genética limitada para os caracteres estudados, recomenda-se que, na melhoria genética de pinhão-mansó, deve-se fazer a caracterização minuciosa de descritores relacionados aos caracteres morfológicos das sementes. Em relação ao rendimento e qualidade de óleo, deve-se garantir nas coleções germoplasmas em número suficiente, que possibilitem a seleção de materiais genéticos com alta performance para os caracteres aqui discutidos.

Outro fato muito relevante ao melhoramento genético do pinhão-mansó foi a constatação de diferenças fenotípicas para os caracteres avaliados dentro do próprio genótipo durante o período da colheita que foi realizada durante o mês de janeiro até o final da primeira quinzena do mês de fevereiro. As respostas dos genótipos quanto ao tamanho das sementes, ao rendimento e à qualidade de óleo foi realmente distinta de uma para a outra.

A busca por genótipos que agreguem estabilidade para tamanho de endosperma e de semente durante o período de colheita, aliado a um bom rendimento e qualidade de óleo deve ser, atualmente, uma das prioridades no melhoramento genético do pinhão-manso. Possivelmente, a evidente heterozigose na maioria dos genótipos brasileiros tem sido a principal causa da variação relatada, sendo estes susceptíveis mais ou menos às condições de ambiente de cultivo.

Dessa forma, a seleção individual de plantas, além, é claro, do melhoramento populacional no pinhão-manso, devem ser empregados. Não se pode também deixar de mencionar a inexistência na literatura de trabalhos, consistentes, que informem a estrutura genética do pinhão-manso, que respondam quais os efeitos da endogamia sobre a cultura, visto que espécies monóicas, naturalmente, podem se autofecundar.

Tais repostas poderão conduzir a novas estratégias de melhoramento do pinhão-manso, tanto na produção de híbridos F_1 , uniformes, quanto na produção de linhagens. Este último, possível somente se a espécie não apresentar depressão por endogamia.

5 CONCLUSÃO

A variabilidade dentro dos acessos de *Jatropha curcas* L. da Coleção de Germoplasmas do Departamento de Fitotecnia da UFRRJ é baixa. Os acessos mais divergentes foram: 384, 907 e 908 e o acesso com menor variabilidade foi o 345. O ideótipo proposto com base nas características avaliadas são: sementes com baixa circularidade, ou seja, mais compridas, maior porcentagem da área do endosperma, alto teor de óleo, sendo, alta concentração de ácidos graxos monoinsaturados e baixa concentração de ácidos graxos poli-insaturados. Os genótipos que apresentaram maior proximidade ao ideótipo proposto foram 345 e 370.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACTHEN, W.M.J.; NIELSEN, L.R.; AERTS, R.; LENGKEEK, A.G.; KJAER, E.D.; TRABUCCO, A.; HANSEN, J.K.; MAES, W.H.; GRAUDAL, L.; AKINNIFESI, F.K.; MUYS, B. Towards domestication of *Jatropha curcas*, **Biofuels**, v. 1, p. 91 - 107, 2010.

AHMED, W.A.; SALIMON, J. Phorbol ester as toxic constituents of tropical *Jatropha curcas* seed oil, **European Journal of Scientific Research**, v. 31, p. 429 - 436, 2009.

AKBAR, E.; YAAKOB, Z.; KAMARUDIN, S.K.; ISMAIL, M.; SALIMON, J. Characteristic and composition of *Jatropha curcas* oil seed from Malaysia and its potential as biodiesel feedstock, **Scientific Research**, Philadelphia, v. 29, n. 3, p. 396 - 403, 2009.

ALBUQUERQUE, F.A.; OLIVEIRA, M.I.P.; LUCENA, A.M.A.; BARTOLOMEU, C.R.C.; BELTRÃO, N.E.M. Crescimento e desenvolvimento do pinhão-mansão: 1º ano agrícola. Documentos, 197. Campina Grande, PB: Embrapa Algodão, 2008. 21 p.

ALVES, J.M.A.; SOUSA, A.A.; SILVA, S.R.G.; LOPES, G.N.; SMIDERLE, O.J.; UCHÔA, S.C.P. Pinhão-mansão: uma alternativa para produção de biodiesel na agricultura familiar da Amazônia brasileira, **Agro@ambiente**, Boa Vista, v. 2, n. 1, p. 57 - 68, 2008.

ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis). Superintendência de Refino, Processamento de Gás Natural e Produção de Biocombustíveis. **Boletim Mensal do Biodiesel**, fevereiro de 2015. 2015. 13 p. www.anp.gov.br. Acesso em 15 de maio de 2015.

APONTE, C.H. Estudio de *Jatropha curcas* L. como recurso biótico. Diploma thesis. University Veracruz, Xalapa-Enríquez, Veracruz, México. 1978.

ARAÚJO, L.G.; SOUSA, K.C.I. Pinhão manso para produção de biodiesel, **Revista Anhanguera**, v. 9, n. 1, p. 95 - 119, 2008.

AVINASH, A; SUBRAMANIAM, D; MURUGESAN, A. Bio-diesel - A global scenario. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 29, p. 517 - 527, 2014.

BALOGH, P.; BAI, A.; POPP, J.; HUZSVAI, L.; JOBBÁGY, P. Internet-orientated Hungarian car drivers' knowledge and attitudes towards biofuels. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 48, p. 17 - 26, 2015.

BARBIERI, R.L.; LEITE, D.L.; CHOER, E.; SINIGAGLIA, C. Divergência genética entre populações de cebola com base em marcadores morfológicos. **Ciência Rural**, v. 35, n. 2, p. 303 - 308, 2005.

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**, v. 156, 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, p. 812 - 823, 2009.

BENIN, G.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C.; MARCHIORO, V.S.; LORENCETTI, C.; KUREK, A.J.; SILVA, J.A.G.; CRUZ, P.J.; HARTWIG, I.; SCHMIDT, D.A.M. Comparações entre medidas de dissimilaridade e estatísticas multivariadas como critérios no direcionamento de hibridações em aveia, **Ciência Rural**, v. 33, p. 657 - 662, 2003.

BERTAN, I.; CARVALHO F.I.F.; OLIVEIRA, A.C.; VIEIRA, E.A.; HARTWIG, I.; SILVA, J.A.G.; SHIMIDT, D.A.M.; VALÉRIO, I.P.; BUSATO, C.C.; RIBEIRO, G. Comparação de métodos de agrupamento na representação da distância morfológica entre genótipos de trigo, **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 12, n. 3, p. 279 - 286, 2006.

BRASIL. Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 14 jan. 2005. Seção 1. p. 8.

BRASIL. Ministério da Indústria e do Comércio. Secretaria de Tecnologia Industrial. **Produção de Combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais**. Brasília, DF: STI/CIT, 1985. 364 p.

CHEN, K.; REN, P.; YING, C.; JIANG, Q.; JIA, X.; Genetic relationships among *Jatropha curcas* L. clones from Panzhuhua, China as revealed by RAPD and ISSR, **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 11, p. 2582 - 2585, 2011.

CHIORATO, A.F. **Divergência genética em acessos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) do Banco de Germoplasma do Instituto Agrônomo-IAC**. 2004. 85 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agrônomo de Campinas, 2004.

CLARKE, K.R.; GREEN, R.H. Statistical design and analysis for a "biological effects" study, **Marine Ecology Progress Series**, v. 46, n. 1, p. 213 - 226, 1988.

CORDEIRO, J.; BOSHIER. D.H. *Jatropha curcas* L. **Árboles de Centro-america**. Turrialba: CATIE, p. 621 - 624, 2003.

CORTESÃO, M. **Culturas tropicais: plantas oleaginosas, coqueiro, rícino, purgueira e aleurites**. Lisboa: Livraria Clássica, 1956. 231p.

CRUZ, C.D. (2007) Programa Genes, versão 2007. Universidade Federal de Viçosa, MG.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. 2004. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. UFV, 3ª Ed. 480p.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 390p.

CRUZ, C.D.; CARVALHO, S.P.; VENCOSKY, R. Estudos sobre divergência genética. II Eficiência da predição do comportamento de híbridos com base na divergência de progenitores. **Revista Ceres**, v. 41, n. 234, p. 183 - 190, 1994.

CUI, Z.; CARTER, T.E.; BURTON, J.W.; WELLS, R. Phenotypic diversity of modern Chinese and North American soybean cultivars. **Crop Science**, v. 41, p. 1954 - 1967, 2001.

DAMASCENO JUNIOR, P.C.; REIS, M.V.M. **O potencial das espécies bioenergéticas para o estado do Rio de Janeiro com ênfase no pinhão-mansão**. I Encontro de genética e melhoramento de plantas do Estado do Rio de Janeiro, Anais..., Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro, UENF, RJ, v. 1, p. 16 - 23. 2012.

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

DIEGUES, I.P.; DAMASCENO JÚNIOR, P.C.; RIBEIRO, N.V.S.; REIS, M.V.M.; ABOUD, A.C.S. Comportamento meiótico e viabilidade polínica na espécie *Jatropha curcas* L. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 1, p. 141 - 150, 2015.

DRUMOND, M.A.; SANTOS, C.A.F.; OLIVEIRA, V.R.; MARTINS, J.C.; ANJOS, J.B.; EVANGELISTA, M.R.V. Desempenho agrônômico de genótipos de pinhão manso no semiárido pernambucano. **Ciência Rural**, v. 40, n. 1, p. 44 - 47, 2010.

FAIRLESS, D. Biofuel: the little shrub that could - maybe. **Nature**, v. 449, n. 7163, p. 652 - 655, 2007.

FALCONER, D.S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa, MG, 1981. 279p.

FERNÁNDEZ, C.M.; FIORI, L.; RAMOS, M.J.; PÉREZ, A.; RODRÍGUEZ J.F. Supercritical extraction and fractionation of *Jatropha curcas* L. oil for biodiesel production, **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 97, p. 100 - 106, 2015.

FERRARI, R.A.; CASARINI, M.B.; MARQUES, D. de A.; SIQUEIRA, W.J. Avaliação da composição química e de constituinte tóxico em acessos de pinhão-manso de diferentes origens. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 12, n. 4, p. 309 - 314, 2009.

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

GINWAL, H.S.; PHARTYAL, 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, p. 76 - 80, 2005.

GUEDES, R.E. **Avaliação da destoxificação da torta de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) usando método químico**. 2013. 82 F. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2013.

HELLER, J. ***Jatropha curcas* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops**. **Physic Nut**, Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, 1996. 66p.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA, 2015). Disponível em: <http://www.iea.org/topics/renewables/>. Acesso em 20/07/2015.

JOHNSON, T.S.; ESWARAN, N.; SUJATHA, M. Molecular approaches to improvement to *Jatropha curcas* L. as a sustainable energy crop, **Plant Cell Reports**, v. 30, p. 1573 – 1591, 2011.

JOLLIFFE, I.T. Discarding variables in a principal component analysis. I. Artificial data, **Applied Statistics**, v. 21, n. 2, p. 160 - 173, 1972a.

JOLLIFFE, I.T. Discarding variables in a principal component analysis. II. Real data, **Applied Statistics**, v. 22, n. 1, p. 21 - 31, 1973b.

KELLEY, L. A., GARDNER, S. P., SUTCLIFFE, M. J. An automated approach for clustering an ensemble of NMR-derived protein structures into conformationally related subfamilies, **Protein Engineering**, v. 11, p. 1063 - 1065, 1996.

KOOTSTRA, A.M.; BEEFTINK, H.H.; SANDERS, J.P.M. Valorisation of *Jatropha curcas*: Solubilisation of proteins and sugars from the NaOH extracted de-oiled press cake, **Industrial Crops and Products**, v. 34, p. 972 - 978, 2011.

KUMAR, R.V.; TRIPATHI, Y.K.; SHUKLA, P.; AHLAWAT, S.P.; GUPTA, V.K. Genetic diversity and relationships among germplasm of *Jatropha curcas* L. revealed by RAPDs, **Trees-Structure and Function**, v. 23, p. 1075 - 1079, 2009.

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

LAVIOLA, B.G.; BHERING, L.L.; MENDONÇA, S.; ROSADO, T.B.; ALBRECHT, J.C. Caracterização morfo-agronômica do banco de germoplasma de pinhão-manso na fase jovem, **Bioscience Journal**, v. 27, p. 371 - 379, 2011.

LÔBO, I.P.; FERREIRA, S.L.C.; CRUZ, R.S. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Química Nova**, v. 32, n. 6, p. 1596 - 1608, 2009.

MAKKAR, H.P.S.; BECKER, K.; SCHMOOK, B. Edible provenances of *Jatropha curcas* from Quintana Roo state of Mexico and effects of roasting on antinutrient and toxic factor in seeds, **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 52, n. 1, p. 31 - 36, 1998.

MAKKAR, H.P.S.; HERRERA, J.M.; BECKER, K. Variation in seed number per fruit, seed physical parameters and contents of oil, protein and phorbol esters in toxic and non-toxic genotypes of *Jatropha curcas*, **Journal of Plant Sciences** v. 4, p. 260 - 265, 2008.

MAKKAR, H.P.S.; BECKER, K. *Jatropha curcas*, a promising crop for the generation of biodiesel and value-added coproducts, **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 111, p. 773- 787, 2009.

MARTIN, G.; MAYEUX, A. Réflexions sur les cultures oléagineuses énergétiques. II. – Le Pourghère (*Jatropha curcas* L.): um carburante possible, **Oléagineux**, v.39, n. 5, p. 283 - 287, 1984.

MARTÍNEZ-HERRERA, J.; SIDDHURAJU, P.; FRANCIS, G.; DÁVILA-ORTÍZ, G.; BECKER, K. Chemical composition, toxic/antimetabolic constituents, and effects of different treatments on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico, **Food Chemistry**, v. 96, p. 80-89, 2006.

MIRANDA, G. V. **Diversidade genética e desempenho de cultivares de soja como progenitores**. 1998. 117 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

MUNCH, E.; KIEFER, J.F. Purging nut (*Jatropha curcas* L.) multiple use plant as a source of fuel in the future? **Schriftenreihe der Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit**, Stuttgart, v. 209, n. 1, p. 32, 1989.

NUNES, C.F. **Caracterização de frutos, sementes e plântulas e cultivo de embriões de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.)**. 2007. 78 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

OJEWOLE, J.A.O.; ODEBIYI, O.O. Neuromuscular and cardiovascular action of tetra methyl pyrazine from the stem of *Jatropha podagrica*. **Planta Medica**, Stuttgart, v. 38, n. 4, p. 8, 1980.

PAMIDIMARRI, D.V.N.S.; SINGH, S.; MASTAN, S.G.; PATEL, J.; REDDY, M.P. Molecular characterization and identification of markers for toxic and non-toxic varieties of *Jatropha curcas* L. using RAPD, AFLP and SSR markers. **Molecular Biology Reports**. V. 36, p. 1357 - 1364, 2009.

PEIXOTO, A.R. **Plantas oleaginosas arbóreas**. São Paulo. Nobel, 1973, 282 p.

PEREIRA, C.S.S. **Avaliação de diferentes tecnologias na extração do óleo do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.)**. 2009. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química, Tecnologia Química) - Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009.

PEREIRA, C.S.S.; COELHO, G.L.V.; MENDES, M.F. Avaliação de diferentes tecnologias na extração do óleo do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). **Revista de Ciências da Vida**, v. 31, n. 2, p. 61 - 74, 2011.

PINTO, T.L.F.; MARCOS FILHO, J.; FORTI, V.A.; CARVALHO, C.; GOMES JUNIOR, F.G. Avaliação da viabilidade de sementes de pinhão manso pelos testes de tetrazólio e de raios X. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 2, p. 195 - 201, 2009

RAO, G.R.; KORWAR, G.R.; SHANKER, A.K.; RAMAKRISHNA, Y.S. Genetic associations, variability and diversity in seed characters, growth, reproductive phenology and yield in *Jatropha curcas* (L.) accessions. **Trees**, v. 22, p. 697 - 709, 2008.

RASBAND, W. ImageJ [software on the Internet] Version 1.42 q [cited 2002 July 5].

REIS, M.V.M. **Lista Preliminar de descritores, caracterização morfoagronômica e diversidade genética em germoplasma de Pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.)**. 2013. 120p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

REIS, M.V.M.; DAMASCENO JUNIOR, P.C.; CAMPOS, T.O.; DIEGUES, I.P.; FREITAS, S.C. Variabilidade genética e associação entre caracteres em germoplasma de pinhão-mansão (*Jatropha curcas*, L.). **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 2, p. 412 - 420, 2015.

RESENDE, J.C.F.; LONDE, L.N.; NEVES, W.S. **Pinhão-mansão**. Nova Porteirinha, MG. EPAMIG, 2013, 524p.

ROCHA, R.B.; RAMALHO, A.R.; TEIXEIRA, A.L.; LAVIOLA, B.G.; SILVA, F.C.G.; MILITÃO, J.S.L.T. Eficiência da seleção para incremento do teor de óleo do pinhão-mansão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 44 - 50, 2012.

ROSADO, T.B.; LAVIOLA, B.G.; FARIA, D.A. 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.

SANTOSO, B.B. Variation in oil contents, and seed and seedling characteristics of *Jatropha curcas* of West Nusa Tenggara selected genotypes and their first improved population, **Nusantara Bioscience**, v. 3, n. 3, p. 130 - 135, 2011.

SATURNINO, H.M.; PACHECO, D.D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N.P. Cultura do pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.), **Informe Agropecuário**, v. 26, n. 229, 44 - 78, 2005.

SILVA, J.M.; AGUIAR, A.V.; MORI, E.S.; MORAES, M.L.T. Divergência genética entre progênies de *Pinus caribaea* var. *caribaea* com base em caracteres quantitativos, **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 69, p. 69 - 77, 2012.

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

SUBRAMANYAM, K.; MURALIDHARARAO, D.; DEVANNA, N. Genetic diversity assessment of wild and cultivated varieties of *Jatropha curcas* (L.) in India by RAPD analysis, **African Journal of Biotechnology**, v. 8, p. 1900 - 1910, 2009.

SUJATHA, M.; DHINGRA, M. Rapid plant regeneration from various explants of *Jatropha integerrima* – Hypocotyls culture, shoot culture, leaf culture and peduncle culture medium optimization for oilseed ornamental plant propagation, **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 35, n. 3, p. 293 - 296, 1993.

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, p. 1865 - 1871, 2008.

TEIXEIRA, L.C. Produção de biodiesel. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 229, p. 79 - 86, 2005.

VAZ PATTO, M.C.; SATOVIC, Z.; PÊGO, S.; FEVEREIRO, P. Assessing the genetic diversity of Portuguese maize germplasm using microsatellite markers. **Euphytica**, v. 137, p. 63 - 67, 2004.

ZHANG, Z.; GUO, X.; LIU, B.; TANG, L.; CHEN, F. Genetic diversity and genetic relationship of *Jatropha curcas* between China and Southeast Asian revealed by amplified fragment length polymorphisms. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 15, p. 2825 - 2832, 2011.