



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E BIODIVERSIDADE**

**VARIABILIDADE GENÉTICA E CARACTERIZAÇÃO DE
HÍBRIDOS DE *Jatropha curcas* L. ORIUNDOS DE
CRUZAMENTOS DIALÉLICOS**

DANIEL ORNELAS RIBEIRO

2018



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E BIODIVERSIDADE**

DANIEL ORNELAS RIBEIRO

VARIABILIDADE GENÉTICA E CARACTERIZAÇÃO DE HÍBRIDOS DE *Jatropha curcas* L. ORIUNDOS DE CRUZAMENTOS DIALÉLICOS

Tese apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Agricultura e Biodiversidade, área de concentração em Agricultura e Biodiversidade, para obtenção do título de “Doutor em Ciências”.

Orientadora
Prof^a. Dr^a. Renata Silva Mann

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE - BRASIL
2018

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

R484v Ribeiro, Daniel Ornelas.
Variabilidade genética e caracterização de híbridos de *Jatropha curcas* L. oriundos de cruzamentos dialélicos / Daniel Ornelas Ribeiro; orientadora Renata Silva Mann. – São Cristóvão, 2018.
133 f.: il.

Tese (doutorado em Agricultura e Biodiversidade)–
Universidade Federal de Sergipe, 2018.

1. Pinhão. 2. Diversidade biológica. 3. Sementes. I. Mann, Renata Silva, orient. II. Título.

CDU 582.681.46

DANIEL ORNELAS RIBEIRO

VARIABILIDADE GENÉTICA E CARACTERIZAÇÃO DE HÍBRIDOS DE *Jatropha curcas* L. ORIUNDOS DE CRUZAMENTOS DIALÉLICOS

Tese apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Agricultura e Biodiversidade, área de concentração em Agricultura e Biodiversidade, para obtenção do título de “Doutor em Ciências”.

APROVADA em 01 de fevereiro de 2018.

Prof. Dr. Arie Fitzgerald Blank
UFS

Prof. Dr. Gabriel Francisco da Silva
UFS

Prof^a. Dr^a. Luzimar Gonzaga Fernandez
UFBA

Prof^a. Dr^a. Andréa dos Santos Oliveira
UNEMAT



Prof^a. Dr^a. Renata Silva Mann
UFS
(Orientadora)

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE - BRASIL

*A minha mãe Eva Evanes Gomes Ornelas, aos
meus irmãos Danilo Ornelas Ribeiro e
Luciana Ornelas Ribeiro e a minha esposa
Ariane Meneses Ribeiro por todo amor e
ensinamentos*
Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, sempre presente na minha vida, por guiar os meus passos nas conquistas obtidas.

A todos da minha família, fontes de inspiração para a busca dos meus ideais, em especial aos meus padrinhos Guilherme Souza Caires e Silvia Cristina Campos Ribeiro, e à minha mãe, Eva Evanes Gomes Ornelas, pelo amor e contínuo apoio em todos os anos da minha vida, ensinando-me, principalmente, a importância da construção e coerência de meus próprios valores. Ao meu pai Carlos Roberto Campos Ribeiro. Aos meus irmãos Danilo Ornelas Ribeiro e Luciana Ornelas Ribeiro, essenciais em todas as etapas da minha vida.

Aos meus avós paternos Nelson Campos Ribeiro (*in memoriam*) e Zuelinda Campos Ribeiro (*in memoriam*) e maternos Pedro Ornellas da Costa (*in memoriam*) e Jaci Souza Gomes da Costa (*in memoriam*), pelo amor e ensinamentos dedicados aos seus filhos e netos.

À minha esposa Ariane Meneses Ribeiro, com quem compartilho todos os meus projetos, agradeço pela paciência nos momentos de ausência e privação, pelas discussões acadêmicas, por ser a minha leitora, conselheira e ouvinte, por seu incentivo inesgotável e por sua presença constante na minha vida. Não são apenas estas palavras que irão expressar a gratidão e amor que tenho por você. Este trabalho também é seu.

Agradeço imensamente à professora Dr^a. Renata Silva Mann, pela amizade, pelas orientações acadêmicas e de pesquisa, pelos conselhos e pelas importantes sugestões e estímulos para minha formação técnico-científica, durante todo o período do curso de doutorado. Serei eternamente grato!

Aos colegas do grupo de pesquisa Genaplant, Bruno Antônio Lemos de Freitas, Fernando Araújo de Almeida, Ricardo Manoel Silva, Airan Miguel dos Santos Panta, Maria Fernanda Oliveira Torres, Sheila Valéria Álvares, Olavo José Marques Ferreira, Erica Moraes Santos de Souza, Michelle Vasconcelos, Allana Mellyse Barbosa Rodrigues, Juliana Lopes Souza, Valdinete Vieira Nunes, Lucas Alexandre, Laura Catharine Doria Prata Lima, Igor Sabino Rocha de Araujo, Luciana Oliveira Oliva, Marcelo Oliva e Airton Marques de Carvalho pela amizade, apoio, dedicação e principalmente pelos conhecimentos compartilhados durante as atividades acadêmicas e de pesquisa. Muito obrigado!

Aos Professores Dr. Gabriel Francisco da Silva e Dr^a. Lisiane dos Santos Freitas e a todos os colegas do Laboratório de Tecnologias Alternativas (LTA) da Universidade Federal de Sergipe, em especial a Carla Crislan de Souza Bery, por todo o apoio durante as atividades de extração e caracterização de óleos de sementes de *J. curcas*.

À Professora Dr^a. Roseli La Corte dos Santos e à colega Iracema Bispo dos Santos do Laboratório de Entomologia e Parasitologia Tropical, por todo apoio concedido durante a avaliação da atividade biológica com extrato de folhas de *J. curcas*.

Ao professor Dr. Paulo César de Lima Nogueira, do Laboratório de Pesquisa em Química Orgânica da Universidade Federal de Sergipe, pelo apoio e incentivo durante as atividades de extração e caracterização fitoquímica do extrato etanólico de folhas de *J. curcas* e à colega Graciele Costa por todo auxílio durante o processo de obtenção destes extratos.

Aos colegas Flaviana Gonçalves da Silva, Adrielle Naiana Ribeiro Soares, Alexandre Passos Oliveira, Thays Saynara Alves Menzes e Vanderson dos Santos Pinto, pelo companheirismo, conselhos e ensinamentos compartilhados.

Aos colegas do Instituto de Criminalística de Sergipe, Thayse Freitas Xavier de Jesus, Juliana Almeida Ferreira Lamartine, Epaminondas Gonzaga Lima Neto, Abrahim Café Pinheiro, Fabiana Dantas Freire, Fabrício Rodrigues Costa, Ricardo Leal Cunha, Maíra Fraga Veiga e Nestor Joquim de Gois Barros pelos ensinamentos, apoio e conselhos essenciais para construção desta tese.

Aos trabalhadores rurais do Campus Rural da Universidade Federal de Sergipe, pela atenção durante as atividades de pesquisa e por me presentarem com seus conhecimentos práticos, fundamentais para o desenvolvimento das diversas etapas deste trabalho.

À Universidade Federal de Sergipe, especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Biodiversidade, através do seu corpo docente, por contribuir substancialmente com a minha formação acadêmica, pelos ensinamentos transmitidos, fornecendo as condições adequadas para a realização das minhas atividades acadêmicas e de pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	ii
LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E SIGLAS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21
4. ARTIGO 1: PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA E POTENCIAL BIOATIVO DE EXTRATO DE <i>Jatropha curcas</i> L.....	38
Resumo.....	38
Abstract	39
4.1. Introdução	39
4.2. Material e Métodos	40
4.3. Bioatividade de <i>Jatropha curcas</i> L.	40
4.4. Atividade inseticida de folhas de <i>Jatropha curcas</i> L.	42
4.5. Prospecção tecnológica	43
4.6. Descrição de resultados para a espécie <i>Jatropha curcas</i> L. nos bancos de dados	44
4.6.1 Portal de periódicos Capes	44
4.6.2 Resultados do banco de dados SciELO.....	45
4.6.3 Resultados das bases de patentes.....	45
4.7. Conclusões	46
4.8. Referências Bibliográficas	47
5. ARTIGO 2: VARIABILIDADE GENÉTICA EM <i>Jatropha curcas</i> L. ORIUNDO DE CRUZAMENTOS DIALÉLICOS.....	55
Resumo.....	55
Abstract	56
5.1. Introdução	56
5.2. Material e Métodos	57
5.2.1 Área e material vegetal	57
5.2.2 PCR	58
5.2.3 Análise de dados	58
5.3. Resultados	58
5.4. Discussão.....	61
5.5. Conclusões	64
5.6. Referências Bibliográficas	65
6. ARTIGO 3: DESCRITORES MORFOAGRONÔMICOS E PRODUÇÃO DE HÍBRIDOS DE <i>Jatropha curcas</i> L. EM DUAS ÉPOCAS DE PLANTIO.....	71
Resumo.....	71
Abstract	72
6.1. Introdução	72
6.2. Material e Métodos	73
6.2.1 Material vegetal e área de estudo	73
6.2.2 Morfologia de frutos e sementes	73
6.2.3 Análise estatística	73
6.3. Resultados e Discussão	73
6.3.1 Biometria de frutos	74
6.3.2 Caracterização e biometria das sementes	76

6.3.3 Efeitos diretos e indiretos sobre os ácidos oleico e linoleico	81
6.4. Conclusões	82
6.5. Referências Bibliográficas	83
7. ARTIGO 4: COMPOSIÇÃO QUÍMICA, RENDIMENTO DO ÓLEO E ESTIMATIVA DE PARÂMETROS GENÉTICOS DE SEMENTES DE <i>Jatropha curcas</i> L.	87
Resumo.....	87
Abstract	88
7.1. Introdução	88
7.2. Material e Métodos	89
7.2.1 Material vegetal e área de estudo	89
7.2.2 Biometria das sementes	89
7.2.3 Extração do óleo	89
7.2.4 Derivatização do óleo e determinação do perfil de ácidos graxos	90
7.2.5 Heterose	90
7.2.6 Análise estatística	90
7.3. Resultados e Discussão	90
7.3.1 Biometria das sementes	90
7.3.2 Perfil de ácidos graxos	92
7.3.3 Estimativa de heterose e heterobeltiose	94
7.4. Conclusões.....	96
7.5. Referências Bibliográficas	98
8. ARTIGO 5: QUALIDADE E VIGOR DE SEMENTES HÍBRIDAS DE <i>Jatropha curcas</i> L.	103
Resumo.....	103
Abstract	104
8.1. Introdução	104
8.2. Material e Métodos	105
8.2.1 Coleta do material vegetal.....	105
8.2.2 Grau de umidade	105
8.2.3 Teste de germinação	106
8.2.4 Condutividade elétrica em massa.....	106
8.2.5 Qualidade do RNA em sementes de <i>J. curcas</i>	106
8.2.6 Análise estatística	106
8.3. Resultados e Discussão	107
8.3.1 Teste de germinação e índice de velocidade de germinação	107
8.3.2 Teste de tetrazólio	108
8.3.3 Teste de condutividade elétrica	108
8.3.4 Qualidade do RNA em sementes de <i>J. curcas</i>	112
8.4. Conclusões.....	113
8.5. Referências Bibliográficas	114
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	117
ANEXO	118

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1

Figura		Página
4.1	Publicações nas bases de dados da CAPES (A) e da SciELO (B).....	44

ARTIGO 2

Figura		Página
5.1	Fragmentos produzidos por <i>primers</i> padrão (A) OMAR, (B) UBC 809 e (C) UBC 811. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.	59
5.2	Dendograma da estimativa de similaridade genética estimada pelo coeficiente de Jaccard por UPGMA para 10 híbridos de <i>Jatropha curcas</i> L. H1. 1x8; H2. 1x13; H3. 4x8; H4. 3x5; H5. 4x5; H6. 4x13; H7. 3x8; H8. 4x15; H9. 3x13; H10. 1x5. UFS, São Cristóvão-SE, 2018	60

ARTIGO 3

Figura		Página
6.1	Cor de frutos de <i>Jatropha curcas</i> L., de acordo com o estágio de desenvolvimento: (A) Fruto verde (imaturo); (B) Fruto amarelo (maduro); (C) Fruto de coloração intremediária entre amarelo e marrom (maduro) e (D) Fruto marrom e seco (maduro). UFS, São Cristóvão-SE, 2018.	74
6.2	Dendrograma representativo da dissimilaridade genética entre dez híbridos de <i>Jatropha curcas</i> L., usando a distância generalizada de Mahalanobis (D^2) e o método de agrupamento UPGMA, considerando a análise conjunta dos caracteres biométricos e de massa de frutos. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.	75

ARTIGO 5

Figura		Página
8.1	Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$) para as sementes híbridas de <i>Jatropha curcas</i> L. (colhidas no ano de 2016) em função dos períodos de imersão das sementes em água. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.	110
8.2	Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$) para as sementes híbridas de <i>Jatropha curcas</i> L. (colhidas no ano de 2017) em função dos períodos de imersão das sementes em água. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.....	111
8.3	Variâncias entre os valores de condutividade elétrica de sementes híbridas de <i>Jatropha curcas</i> L. (colhidas nos anos de 2016 e 2017), sob diferentes períodos de imersão. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.....	111
8.4	Dados médios dos anos agrícolas 2016/2017 da relação entre a qualidade do RNA e germinação (%) de sementes híbridas de <i>Jatropha curcas</i> L. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.....	112

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

Tabela	Página
4.1 Bioatividade de extratos de diferentes partes de plantas de <i>Jatropha curcas</i> L.	41
4.2 Bioatividade inseticida de extratos de folhas de <i>Jatropha curcas</i> L.	43
4.3 Número de publicações por palavra-chave nas bases de dados CAPES e SciELO.....	43
4.4 Patentes depositadas por base de dados e palavras-chaves até dezembro de 2017 relacionadas à espécie <i>Jatropha curcas</i> L.....	45

ARTIGO 2

Tabela	Página
5.1 Híbridos de <i>Jatropha curcas</i> L. usados na análise de diversidade genética, São Cristóvão, Sergipe. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.....	58
5.2 Sequência dos <i>primers</i> , temperatura de anelamento (Ta), número total de locos (N), número de locos polimórficos, e porcentagem de cada <i>primer</i> ISSR em híbridos de <i>Jatropha curcas</i> L. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.....	59
5.3 Similaridade genética entre 10 híbridos de <i>Jatropha curcas</i> L. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.....	59

ARTIGO 3

Tabela	Página
6.1 Caracterização morfoagronômica de frutos de híbridos de <i>Jatropha curcas</i> L. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.....	74
6.2 Médias e parâmetros genéticos de componentes relacionados à biometria e peso de frutos de dez híbridos de <i>Jatropha curcas</i> L. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.	75
6.3 Contribuição relativa de caracteres morfológicos de frutos para a dissimilaridade genética de 10 híbridos de <i>Jatropha curcas</i> L., pelo método proposto por Singh (1981). UFS, São Cristóvão-SE, 2018.	76
6.4 Variâncias, variâncias percentuais e acumuladas das variáveis canônicas obtidas de 10 híbridos de <i>Jatropha curcas</i> L. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.....	76
6.5 Caracterização morfoagronômica de sementes híbridas de <i>Jatropha curcas</i> L. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.....	77
6.6 Estimativa média dos valores morfométricos e de produção de sementes híbridas de <i>Jatropha curcas</i> L. em dois anos agrícolas. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.....	78
6.7 Médias e parâmetros genéticos de componentes ligados à biometria e peso de sementes híbridas de <i>Jatropha curcas</i> L. UFS, São Cristóvão-SE, 2018..	79
6.8 Contribuição relativa de caracteres morfológicos sementes para a dissimilaridade genética de 10 híbridos de <i>Jatropha curcas</i> L., pelo método proposto por Singh (1981). UFS, São Cristóvão-SE, 2018.	80
6.9 Variâncias, variâncias percentuais e acumulada das variáveis canônicas obtidas de 10 híbridos de <i>Jatropha curcas</i> L. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.....	81
6.10 Estimativas dos efeitos diretos e indiretos dos caracteres comprimento (mm), largura (mm), espessura (mm), peso do tegumento (g), peso da amêndoa (g) e massa de 100 sementes (g) sobre a produção de sementes em híbridos de <i>Jatropha curcas</i> L. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.....	82

ARTIGO 4

Tabela	Página
7.1 Caracterização biométrica e teor de óleo de sementes híbridas de <i>Jatropha curcas</i> L. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.....	91
7.2 Estimativas de variância genética (σ_g^2), ambiental (σ_e^2) e fenotípica (σ_f^2) e herdabilidade no sentido amplo (h^2) em caracteres de sementes híbridas de <i>Jatropha curcas</i> L. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.....	92
7.3 Perfil de ácidos graxos do óleo de sementes híbridas de <i>Jatropha curcas</i> L. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.....	93
7.4 Estimativas de correlação entre os caracteres comprimento (COMP), largura (LARG), espessura (ESP), massa de 100 sementes (M100), teor de óleo (TO), ácido palmítico (PAL), ácido esteárico (EST), ácido oleico (OLE) e ácido linoleico (LIN) de sementes híbridas de <i>Jatropha curcas</i> L. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.....	94
7.5 Caracterização biométrica e teor de óleo de sementes de acessos de <i>Jatropha curcas</i> L. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.....	95
7.6 Estimativas dos efeitos de heterose média parental para os valores médios dos caracteres comprimento de sementes (CS), largura da semente (LS), espessura da semente (ES), massa de 100 sementes (M100) e teor de óleo (TO) em de sementes híbridas de <i>Jatropha curcas</i> L. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.....	95
7.7 Estimativas de heterobeltiose dos genótipos da geração F ₁ sobre a média parental para os valores médios dos caracteres comprimento de sementes (CS), largura da semente (LS), espessura da semente (ES), massa de 100 sementes (M100) e teor de óleo (TO) em híbridos de <i>Jatropha curcas</i> L. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.....	96

ARTIGO 5

Tabela	Página
8.1 Germinação (%) e índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes híbridas de <i>Jatropha curcas</i> L. colhidas durante os anos de 2016 e 2017. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.....	107
8.2 Dados médios do teste de condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) de sementes híbridas de <i>Jatropha curcas</i> L. colhidas durante os anos de 2016 e 2017. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.....	109
8.3 Equações de regressão polinomial para os dados de condutividade elétrica de sementes híbridas de <i>Jatropha curcas</i> L. submetidas a oito períodos de imersão. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.....	110

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AFLP	Amplified Fragment Length Polymorphism
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CG/MS	Cromatografia Gasosa Acoplada a Espectrometria de Massas
DBC	Delineamento em Blocos Casualizados
DIC	Delineamento Inteiramente Casualizado
DHE	Distinguilidade, Homogeneidade e Estabilidade
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
EPO	European Patent Office
CLAE	Cromatografia Líquida de Alta Eficiência
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
ISSR	Inter Simple Sequence Repeats
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MS	Espectrometria de massa
RAPD	Random Amplification Polymorphic DNA
SSR	Simple Sequence Repeat
SCIELO	Scientific Electronic Library Online
USPTO	United States Patent and Trademark Office
WIPO	World Intellectual Property Organization

RESUMO

RIBEIRO, Daniel Ornelas. **Variabilidade genética e caracterização de híbridos de *Jatropha curcas* L. oriundos de cruzamentos dialélicos.** São Cristóvão: UFS, 2018. 133p. (Tese - Doutorado em Agricultura e Biodiversidade)*

A espécie *Jatropha curcas* L. possui bom rendimento de óleo para produção de biodiesel, resistência ao estresse hídrico e grande potencial como agente inseticida e medicinal. Porém, ainda são necessárias pesquisas direcionadas aos múltiplos usos desta espécie. Assim, visando caracterizar 10 híbridos de *J. curcas* realizou-se: i) a prospecção tecnológica sobre as propriedades bioativas de *J. curcas*; ii) a estimativa da diversidade genética; iii) a caracterização morfoagronômica de frutos e sementes e iv) a avaliação da qualidade inicial de sementes dos 10 híbridos de *J. curcas* oriundos de cruzamentos dialélicos. A prospecção foi realizada em bancos de dados de pesquisa científica, tecnológica e de patentes, em sites do Ministério da Saúde, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e da Agência Nacional de Vigilância Sanitária. A estimativa da variabilidade genética foi feita usando marcadores moleculares Inter Repetições de Sequências Simples (ISSR). Utilizou-se nove *primers* e seis foram selecionados com 80,7% de polimorfismo. A caracterização morfoagronômica e as estimativas das correlações fenotípicas entre as variáveis foram determinadas e desdobradas, por meio da análise de trilha. Estimou-se variâncias genéticas, ambientais, herdabilidade e heterose dos híbridos. Para a extração do óleo, usou-se o solvente éter de petróleo e empregou-se aparelho tipo Soxhlet. Estas amostras foram derivatizadas e analisadas por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massa. Quanto a prospecção tecnológica, há registros acadêmicos sobre o uso de extratos de diferentes partes de *J. curcas*, evidenciando a importância desta espécie para a formulação de produtos fitossanitários, porém, existem poucos registros de patentes referentes ao uso do extrato como inseticida. A similaridade genética média entre os híbridos foi de 58,4%, com maior diversidade genética observada entre os híbridos 1x5 e 1x8 e a maior similaridade entre os híbridos 3x13 e 1x5. Morfoagronomicamente, os híbridos diferem quanto a biometria e teor de óleo nas sementes. Observou-se alta herdabilidade para as características agronômicas, com exceção para massa de 100 sementes. O híbrido 1x5 destaca-se quanto à biometria de sementes. O maior teor de óleo foi obtido no híbrido 3x13. Os ácidos graxos encontrados em maior porcentagem foram o oleico (35,7% a 38,9%) e linoleico (30,6% a 37,8%), com destaque para o híbrido 4x5. Para germinação, nos dois anos avaliados, destacaram-se os híbridos 1x5 (56%), 1x8 (55%), 1x13 (56%), 3x8 (61%), 4x5 (56%) e 4x8 (61%). Quanto ao IVG, os maiores valores obtidos foram observados nos híbridos 1x5 (3,34), 1x13 (3,70), 3x8 (3,34), 3x13 (3,05) e 4x8 (3,69). Verificou-se pelo teste de tetrazólio que entre as sementes que não germinaram, as sementes não estavam viáveis para os híbridos 1x5, 3x5, 3x8 e 3x13.

Palavras-chave: Pinhão-manso, caracterização morfoagronômica, sementes, diversidade genética.

* Comitê Orientador: Renata Silva Mann - UFS (Orientadora).

ABSTRACT

RIBEIRO, Daniel Ornelas. **Genetic variability and characterization of hybrids of *Jatropha curcas* L.** São Cristóvão: UFS, 2018. 133p. (Thesis - Doctor of Science in Agriculture and Biodiversity)*

The species *Jatropha curcas* L. has a good yield of oil for biodiesel production. It has a resistance to water stress and it demonstrates a great potential as an insecticidal or medicinal agent. However, much research is still needed on the multiple uses of this species. Thus, whilst aiming to characterize 10 specific hybrids of *J. curcas*, the following assessments were carried out: i) a technological prospection regarding the bioactive properties of the *Jatropha curcas* L. species; ii) estimations of genetic diversity; iii) morphoagronomic characterizations of the fruits and seeds; and iv) the initial seed quality evaluations of the 10 hybrids of *J. curcas* that originated from diallel crosses. The survey was conducted in the databases of scientific, technological and patent research, on the websites of the Ministry of Health and the Ministry of Agriculture, Livestock and Supply, as well as on the National Agency of Sanitary Surveillance (ANVISA) website. The estimations of the genetic variabilities were performed by using Inter Simple Sequence Repeat (ISSR) molecular markers. Nine primers were used and six were selected with an 80.7% polymorphism. The morphoagronomic characterizations and the estimations of the phenotypic correlations between the variables were determined and deployed through track analyzes. The genetic, environmental, heritability and heteroses variances of the hybrids were estimated. In order to extract the oil, petroleum ether solvents were used and a Soxhlet type apparatus was also used. These obtained samples were derivatized and analyzed by gas chromatography coupled to mass spectrometry (GC-MS). Regarding the technological prospecting, there were academic records on the use of these extracts from different parts of *J. curcas*, evidencing the importance of this species for the formulation of phytosanitary products. However, there were only a few patent records regarding the use of these extracts as an insecticide. The average genetic similarity between the hybrids was 58.4%, with a greater genetic diversity observed between the 1x5 and 1x8 hybrids and with a greater similarity between the 3x13 and 1x5 hybrids. Morphoagronomically, the hybrids differed in their biometry, as well as in the oil contents of their seeds. A high heritability was observed for their agronomical characteristics, except for the mass of 100 seeds. The 1x5 hybrids stood out for their biometric characteristics. The highest oil content was extracted from the 3x13 hybrid seeds. The highest percentages that were found in the fatty acids were oleic acid (35.7% to 38.9%) and linoleic acid (30.6% to 37.8%). For their germination, the 1x5 (56%), 1x8 (55%), 1x13 (56%), 3x8 (61%), 4x5 (56%) and 4x8 (61%) hybrids stood out in the two evaluated years. As for their IVG, the highest values were observed in the 1x5 (3.34), 1x13 (3.70), 3x8 (3.34), 3x13 (3.05) and 4x8 (3.69) hybrids. The tetrazolium test verified that among the seeds that did not germinate, the hybrids 1x5, 3x5, 3x8 and 3x13 were not viable.

Keywords: *Jatropha*, morphology, seeds, genetic diversity.

* Supervising Committee: Renata Silva Mann - UFS (Advisor).

1. INTRODUÇÃO GERAL

Jatropha curcas L., conhecida no Brasil como pinhão-mansão, é nativa das Américas e se destaca das demais espécies oleaginosas por ser perene, resistente à seca e possuir alto conteúdo de óleo de qualidade nas sementes. Está distribuída em diversas regiões dos trópicos e subtropicais e estima-se que mais de três milhões de hectares foram implantados no mundo. Porém, houve uma desaceleração na implantação de lavouras, devido principalmente à falta de pesquisa básica sobre a cultura e à inexistência de cultivares melhoradas geneticamente (BRESSAN, 2011), além da competição como matéria-prima com outras oleaginosas como soja, palma e mamona (CÉSAR et al., 2017; MAHMUD e CHO, 2018; ZHU et al., 2018).

O óleo, extraído das sementes de *J. curcas*, apresenta diversas aplicações para comunidades locais e potencial aplicação em diferentes setores industriais, como a produção de biodiesel, constituindo-se, assim, em mais uma fonte de matéria-prima dentre as espécies oleaginosas úteis. O rendimento do óleo pode variar entre cultivares e de acordo com o método de extração utilizado, bem como com o estágio de maturação da semente. Os principais ácidos graxos encontrados nas amostras do óleo de *J. curcas* são oleico, linoleico, ácido palmítico e ácidos esteáricos, que podem influenciar na qualidade do biodiesel (LAMAISRI et al., 2015; VIRGENS et al., 2017).

Apesar disso, a falta de conhecimento sobre os aspectos ecofisiológicos de *J. curcas* dificultam a otimização de práticas agronômicas padronizadas para o seu cultivo (EDRISI et al., 2015). Com isso, é necessário o desenvolvimento de novos híbridos com elevado teor de óleo de qualidade em suas sementes e que sejam produtivos (PANDEY et al., 2012). O conhecimento das características fitoquímicas da planta, bem como as propriedades medicinais e agrícolas, como potencial biocida, são de grande importância.

A exploração comercial para produção de produtos biofarmacêuticos e de biocombustíveis são alguns dos potenciais da espécie (DEBNATH e BISEN, 2008). As sementes são tóxicas para os seres humanos e muitos animais (HELLER, 1996) porém, muitas partes das plantas são utilizadas na medicina tradicional (AREKEMASE et al., 2011) devido principalmente às propriedades antimicrobiana, anti-inflamatória, cicatrizante, homeostática, anticolinesterase, antidiarreica, anti-hipertensiva, além de possuir agentes anticancerígenos (MONIRUZZAMAN et al., 2016).

Além das propriedades medicinais e do potencial uso para a produção de biodiesel, *J. curcas* possui propriedades inseticidas (OJHA e PATTABHIRAMAIAH, 2013; BASSEN et al., 2014; OHIMAIN et al., 2014), importantes para o estudo sobre novos compostos ativos naturais, visando a eficiência no controle de insetos vetores de doenças e servindo como produto alternativo aos inseticidas usados atualmente.

Embora *J. curcas* possua grande capacidade de adaptação e múltiplos usos, ainda há grande demanda por informações técnicas e científicas necessárias para o desenvolvimento de cultivares melhoradas, pois se trata de uma espécie não domesticada, polimórfica e com variações relatadas na arquitetura da planta, altura, número de frutos, dimensões da semente (comprimento, largura, diâmetro lateral) e peso da semente (DAS et al., 2010; GUAN et al., 2013). A alta variabilidade fenotípica e a diferença de produtividade representam potencial para a seleção de genótipos com características agronômicas desejáveis. As informações sobre a caracterização desta espécie compreendem a descrição dos genótipos introduzidos, o estudo do comportamento fisiológico, a melhoria do rendimento de sementes e a produtividade do óleo (SAADAOUI et al., 2015).

Desta forma, um melhor entendimento sobre a diversidade genética entre genótipos de *J. curcas* pode contribuir substancialmente para o futuro desenvolvimento de cultivares melhoradas (REIS et al., 2015). Estas cultivares poderão ser obtidas pela avaliação de variação genética e seleção de genótipos superiores, hibridação interespecífica e por intervenções biotecnológicas para modificação das características desejadas (DIVAKARA et al., 2009).

Considerando-se o potencial da espécie *Jatropha curcas* L. para diferentes finalidades comerciais, os objetivos deste trabalho foram: i) realizar a prospecção tecnológica por meio da busca de publicações e patentes sobre as propriedades bioativas de *J. curcas*; ii) estimar a diversidade genética; iii) realizar a caracterização morfoagronômica; iv) avaliar a qualidade inicial de sementes dos dez híbridos de *J. curcas* oriundos de cruzamentos dialélicos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Centro de origem de *Jatropha curcas* L.

Euphorbiaceae é uma família pantropical com três subfamílias: Acalyphoideae, Crotonoideae e Euphorbioideae. A região meso-americana (México e América Central) é considerada o centro de diversidade do gênero *Jatropha*, pois mais de 100 espécies, entre as 175, são nativas dessa região. Além disso, no México existem 41 espécies nativas, das quais 31 são estritamente endêmicas. Porém, várias espécies de *Jatropha* são nativas da América do Sul (JIMÉNEZ e MARTINEZ, 1994; WURDACK et al., 2005; OVANDO-MEDINA et al., 2011).

Com isso, o centro de origem, o centro de domesticação e a existência de possíveis centros de diversidade ainda são questões em aberto, sendo essas questões ainda controversas, pois essa espécie pode ser encontrada em uma ampla gama de países das Américas Central e do Sul. *J. curcas* foi introduzido na Ásia e na África pelos portugueses, principalmente para a produção de óleo e devido ao seu potencial medicinal. Na Índia, ocorre em estado selvagem, semi-selvagem e cultivado em quase todas as zonas biogeográficas das áreas costeiras para as faixas exteriores do Himalaia (KUMAR e TEWARI, 2015).

J. curcas foi introduzido nas Ilhas de Cabo Verde e na Guiné-Bissau em meados do século 16, por marinheiros portugueses, devido ao seu potencial medicinal. Posteriormente, a espécie foi introduzida em outras colônias portuguesas na África (Moçambique e Angola) e, posteriormente, foi levada para a Ásia (Índia, China e Indonésia). O cultivo de *J. curcas* é abundante em regiões tropicais devido à sua variabilidade genética, o que permite seu cultivo em diferentes condições climáticas (Figura 2.1). A sua distribuição natural ocorre em período anual de precipitação entre 944 e 3.121 mm, e em temperaturas entre 16,5 e 32,5°C (SILITONGA et al., 2011; LAVIOLA et al., 2017).



FIGURA 2.1 - Provável centro de origem e regiões com potencial para cultivo de *J. curcas*.

Fonte: Laviola et al. (2017)

Não há registros da antiguidade de uso e conhecimento de *J. curcas* e de seus produtos anteriores aos Olmecas, no México, civilização que existiu entre 1.500 e 3.000 anos a.C., sendo o mais antigo registro conhecido. Com isso, até que um registro anterior ao dos Olmecas seja encontrado, *J. curcas* pode ser considerado originário do México. A origem sul-americana, ou talvez até brasileira, não é muito provável, em vista da planta ser encontrada nestas regiões apenas em quintais de zonas urbanas ou perto de casas em zonas rurais como uma espécie de planta isolada ou cerca viva, não havendo registro de *J. curcas* se reproduzindo em estado selvagem em florestas ou savanas (DIAS et al., 2012).

Em estudos sobre a diversidade genética de uma coleção de germoplasma com 192 acessos de *J. curcas*, coletados em todo o Brasil (desde os estados do Maranhão até o Rio Grande do Sul), com o uso de RAPD, verificou-se que apenas 23 dos 381 marcadores RAPD replicados eram polimórficos. Não foi observada relação entre o agrupamento de acessos e a origem geográfica. A base genética estreita e a extensão de acessos potencialmente duplicados refletem uma ascendência, desvio e seleção intensiva recente entre os acessos cultivados desde o momento da introdução, destacando-se a necessidade de introdução de acessos no Brasil (ROSADO et al., 2010).

Entretanto, em estudo sobre a diversidade genética entre 322 acessos de *J. curcas* de oito estados do Brasil, com o uso de marcadores ISSR, obteve-se 19.472 fragmentos (91%) em um total de 21.253 fragmentos revelados. Entre os fragmentos polimórficos foram identificados 275 marcadores raros presentes em menos de 15% dos acessos. Com estes resultados pode-se verificar que os acessos brasileiros estão intimamente relacionados, porém, possuem maior nível de diversidade genética do que acessos de outros países e que os acessos oriundos de Natal-RN são os mais divergentes, com grande potencial como fonte de diversidade genética para programas de melhoramento genético no mundo (GRAVITOL et al., 2011).

Ao avaliar a estrutura populacional e a diversidade genética entre acessos de *J. curcas* em nível global, usando marcadores moleculares *Simple Sequence Repeat* (SSR), observou-se baixo nível de diversidade genética entre acessos da Índia, Moçambique, Etiópia, Tanzânia, Brasil, Honduras e Indonésia. Em contraste, os acessos do México e da Costa Rica apresentaram alta variabilidade genética (SANTOS et al., 2016), corroborando com as definições sobre o provável centro de origem do *J. curcas* ser a América Central.

Entretanto, ao estimar a diversidade genética de 50 genótipos de *J. curcas* de um banco de germoplasma da Costa Rica, usando 18 EST-SSR, um G-SSR e marcadores nrDNA-ITS e as relações filogenéticas entre as amostras usando marcadores ribossômicos nucleares de ITS, observou-se que o agrupamento não estava relacionado à origem geográfica dos acessos, pois eram de países próximos como Colômbia (JCCR-38) e Equador (JCCR-25), e não parecem apresentar alta similaridade genética. Em contraste, acessos de locais distantes, como Índia (JCCR-ÍNDIA) e Costa Rica (JCCR-14); África do Sul (JCCR-47) e Honduras (JCCR-2); Brasil (JCCR-16) e Costa Rica (JCCR-MIR); México (JCCR-24) e Equador (JCCR-25) foram agrupados (VÁSQUEZ-MAYORGA et al., 2017).

Para o estudo da diversidade genética e da estrutura de genótipos de *J. curcas* de populações nativas no México, utilizando marcadores de DNA de microssatélites, foram selecionadas amostras representativas de sete locais em duas regiões do estado de Chiapas agrupadas por proximidade geográfica. Observou-se polimorfismo médio por população de 58%, com um padrão reprodutivo de cruzamento não aleatório. Verificou-se ainda que as populações foram estruturadas e moderadamente diferenciadas e que essa diferenciação ocorreu devido à alopatria. Os resultados deste estudo revelam que o *J. curcas* em Chiapas possui diversidade genética maior do que a relatada em outras partes do mundo (SALVADOR-FIGUEIROA et al., 2015).

Ao determinar as relações genéticas entre 50 indivíduos de 12 acessos de *J. curcas* de diferentes regiões do Brasil, com base no marcador AFLP, foram observados agrupamentos dos indivíduos de 6 dos 12 acessos os quais, apresentaram similaridade superior a 30%, evidenciando a alta variabilidade genética (SANTOS et al., 2010).

Diversos estudos reportam a variação entre os níveis de diversidade genética existente entre acessos e genótipos em diferentes regiões do mundo, estimadas com o auxílio de ferramentas biotecnológicas como os marcadores moleculares (Tabela 2.1).

TABELA 2.1 - Estimativa da diversidade genética em *Jatropha curcas* L., em diferentes regiões do mundo, com o uso de marcadores moleculares.

Origem	Técnica	Diversidade mínima	Diversidade média	Diversidade máxima	Referência
	(%).....			
Tailândia	SSR	20,0	43,0	100,0	Na-ek et al. (2011)
Brasil	AFLP	7,0	38,5	70,0	Santos et al. (2010)
Brasil	RAPD	0	11,0	86,0	Rosado et al. (2010)
Índia	RAPD	44,0	73,0	92,0	Boora e Dhillon (2010)
Índia	RAPD e ISSR	30,0	57,5	85,0	Khurana-Kaul et al. (2012)
Índia	RAPD	44,0	68,0	88,0	Kumar et al. (2013)
Índia	RAPD	14,0	63,0	98,0	Gopale e Zunjarrao (2013)
México, Ásia e África	ISSR	8,0	30,0	52,0	Basha et al. (2009)
Índia	ISSR	73,0	84,0	95,0	Kumar et al. (2011)
Malásia	ISSR	72,0	86,0	100,0	Camellia et al. (2012)
Brasil	ISSR	6,0	28,0	52,0	Pestana-Caldas et al (2016)
Brasil	ISSR	47,0	58,4	69,0	Ribeiro et al. (2017)
Brasil	ISSR	55,0	59,0	86,0	Díaz et al. (2017)

Fonte: Próprio autor.

2.2 Aspectos gerais de *Jatropha curcas* L.

O epíteto genérico *Jatropha* é derivado do grego *iatrós* (doutor) e *trophé* (comida) devido às suas propriedades medicinais. A espécie *Jatropha curcas* L., conhecida como pinhão-mansão, é diploide com 22 cromossomos pequenos (1,71-1,24 μm), dos quais cinco são metacêntricos (1, 2, 5, 6 e 11) e seis são submetacêntricos (3, 4, 7, 8, 9 e 10), com comportamento meiótico normal. Seu genoma é considerado pequeno ($C = 416 \text{ Mb}$) em comparação com outras espécies da família Euphorbiaceae, e sua composição de base ajustada é $\text{AT} = 61,3\%$ e $\text{GC} = 38,7\%$ (CARVALHO et al., 2008; DAHMER et al., 2009; LAVIOLA et al., 2017).

J. curcas tem origem provável das Américas e foi classificada por Karl von Linne no ano de 1793, sendo que o centro de origem, o centro de domesticação e a existência de possíveis centros secundários de diversidade, ainda são questões em aberto para esta espécie (DIAS et al., 2012).

J. curcas é uma espécie resistente à seca, que pode atingir até 5 m de altura. A dormência fenológica é induzida por flutuações na precipitação, temperatura e luminosidade. Possui folhas com comprimento e largura de 6 a 15 cm, dispostas alternadamente e as inflorescências terminais são formadas em ramos. A planta é monoica e as flores são unissexuais, podendo, ocasionalmente, possuir flores hermafroditas. Dez estames são dispostos em dois espirais distintos, de cinco cada um, em uma única coluna no estame, e em estreita proximidade uns dos outros (HELLER, 1996).

As flores masculinas possuem aproximadamente 3.000 a 5.000 grãos de pólen (266-647 por antera). As plantas se reproduzem por geitonogamia e xenogamia, embora a polinização

por insetos aumente significativamente a produção e qualidade de frutos (RINCÓN-RABANALES et al., 2016).

A espécie não apresenta problemas de autoincompatibilidade, resultando em elevados índices de fecundação nos processos de geitonogamia, independente se a flor doadora de pólen pertence à mesma inflorescência (80,8%) ou a outra inflorescência da mesma planta (90,5%). Elevados índices de fecundação (acima de 80%) são apresentados também com a realização de xenogamia (polinização cruzada) (PAIVA NETO et al., 2010). Em resultados semelhantes foram observados 96 e 77% de fecundação e desenvolvimento de frutos ao realizarem processos de xenogamia e geitonomia (SOLOMON RAJU e EZRADANAM, 2002).

O fruto de *J. curcas* é do tipo seco, trilobular, liso, coriáceo, capsular, ligeiramente roliço com ápice e base agudos e, entre os carpídeos, observa-se a presença de sulcos. O endocarpo é rijo e duro, com pequenos orifícios nos pontos de união dos carpelos, pelos quais passam cordões fibrosos, que contornam os pontos de junção e se distribuem pelas partes dorsal e ventral das cocas. O fruto seco apresenta deiscência, fazendo com que as cocas se fendam longitudinalmente, expondo as sementes. O fruto apresenta superfície lisa e pericarpo com duas zonas distintas: o exocarpo, película mais fina, e o endocarpo, mais grosso. Próximo à deiscência, o exocarpo desprende-se do fruto, dando-lhe um aspecto mais áspero. No interior do fruto encontram-se geralmente três sementes (NUNES et al., 2009).

A maturação é desuniforme, observando-se em um mesmo cacho frutos verdes, amarelos, castanhos e marrons (quando maduros). No geral, 53 a 62% do peso dos frutos é representado pelas sementes e 38 a 47% pela casca, com o peso do fruto maduro variando entre 1,5 e 3,0 gramas (DIAS et al., 2007).

A semente de *J. curcas* é endospermica e apresenta forma ovalada, dorso convexo, envoltório liso, coloração preta, marcada por suaves estrias. Possui rafe pouco evidente e presença de carúncula, situada próxima à micrópila, presa na parte ventral. Quando a semente está seca, a carúncula tem a extremidade cônica, com dois lóculos pouco visíveis. Dentro da semente encontram-se o embrião e o albúmem ou endosperma (rico em óleo), tenros e de coloração branca (NUNES et al., 2009).

As sementes são tóxicas para os seres humanos e para muitos animais (HELLER, 1996; ARRUDA et al., 2004). Sementes maduras e secas são relativamente uniformes, com forma ovoide, dorso convexo levemente arredondado e face ventral convexa levemente triangulada (PIMENTA et al., 2014) e contêm, em média, 20 a 40% de teor de óleo, com boas características para a produção de biodiesel.

J. curcas possui ainda vários metabólitos secundários de importância medicinal, uma vez que a folha, frutas, látex e casca contêm glicosídeos, taninos, fitoesteróis, flavonoides (orientina, vitexina, isovitexina e rhoifolina) e sapogeninas esteroides que exibem amplas propriedades medicinais. Além de produtos medicinais, a partir das sementes de *J. curcas* é possível produzir ainda inseticidas, sabão, biodiesel (KAZEMBE e CHAIBVA, 2012) e fertilizante (torta), enquanto que as folhas possuem substâncias anti-inflamatórias (GUBITZ et al., 1999) e biocidas (CANTRELL et al., 2011; TOMASS et al., 2011).

Na agricultura, as folhas e frutos de *J. curcas* podem ser usados no controle de fitopatógenos e pragas, tendo sido relatados, principalmente, trabalhos referentes às atividades pesticida (ACDA, 2009; RATNADASS e WINK, 2012) e fungicida pelo óleo (RAHMAM et al., 2011; ALONSO e SANTOS, 2013) ou pelo extrato de folhas (RAHMAM et al., 2014).

Análises fitoquímicas revelam a presença de compostos fenólicos (ácido gálico e pirogalol), isoflavonoides (daidzeína) e flavonoides (quercetina, rutina, miricetina, kaempferol e naringina) como principais constituintes bioativos de extrato de folhas de *J. curcas*, com efeitos antitumorais, antimicrobiano e inseticida (NAMULI et al., 2011; OSKOUJIAN et al., 2011).

Devido a estas características, *J. curcas* é uma das principais espécies oleaginosas não comestíveis que pode ser utilizada para a produção de biodiesel em vários países, sendo cultivada em diversas regiões tropicais e subtropicais do mundo. Desenvolve-se em regiões

mais secas, com uma precipitação de 500-600 mm ao ano, podendo sobreviver por longos períodos de seca (7 a 8 meses), dependendo da umidade do ar, e suportar geadas leves. Com isso, o cultivo pode ser não só uma possibilidade real para a produção de combustíveis para uso local, mas também uma fonte de renda adicional de outras atividades relacionadas à comercialização de seus coprodutos (BASILI e FONTINI, 2012).

J. curcas, pelo emprego do seu óleo e possibilidade de uso na produção do biodiesel, grande rusticidade, boa adaptação às variações do meio ambiente e pelo papel que pode exercer na proteção do solo, podendo ser cultivado, ainda, em consórcio com outras culturas de importância econômica; possui grande importância para o melhor aproveitamento agrícola em diferentes condições edafoclimáticas (ARRUDA et al., 2004). A faixa ideal de temperatura para o crescimento e desenvolvimento do *J. curcas* é de 25 a 35 °C, porém, em algumas regiões nos trópicos, pode ser encontrada em altitudes elevadas (MAKKAR e BECKER, 2009).

Seu potencial de rendimento é de 5 t ha⁻¹ de grãos, o que corresponde a 1,9 t ha⁻¹ de óleo, e o pico produtivo no Brasil inicia-se a partir do quarto ano após o plantio (TOMINANGA et al., 2007). Estas vantagens competitivas fazem de *J. curcas* uma oleaginosa promissora para o cultivo comercial, especialmente para a agricultura familiar. Porém, apesar do entusiasmo, o Brasil ainda não conta com cultivares melhoradas geneticamente, sementes certificadas e nem com um sistema de produção definitivo para produção comercial da espécie (DIAS et al., 2012). Com isso, a seleção de genótipos superiores para cruzamentos dialélicos pode auxiliar na obtenção de híbridos com características agrônômicas desejáveis, ou mesmo contribuir para informações adicionais para esta espécie.

2.3 Potencial do extrato de folhas de *Jatropha curcas* L. como inseticida natural

O uso excessivo de pesticidas sintéticos tem causado problemas ambientais e de saúde, de modo que os extratos de plantas conhecidos como inseticidas botânicos ou pesticidas naturais podem ser uma boa fonte alternativa aos pesticidas sintéticos, devido às suas propriedades seguras, ecológicas e mais compatíveis. Desta forma, diferentes tipos de extrato vegetais estão sendo usados para o controle de pragas (RAHMAN et al., 2016).

Apesar de ser considerada uma das principais espécies oleaginosas não comestíveis utilizadas para a produção de biodiesel em vários países, o cultivo de *J. curcas* pode ser também uma fonte de renda adicional relacionada à comercialização de seus subprodutos (BASILI e FONTINI, 2012).

Além do potencial medicinal, os subprodutos de *J. curcas* podem ser usados para diversos fins. A partir das sementes de *J. curcas* é possível produzir inseticidas, sabão, biodiesel (KAZEMBE e CHAIBVA, 2012), fertilizantes (torta), enquanto que as folhas possuem substâncias anti-inflamatórias (GUBITZ et al., 1999) e biocidas (CANTRELL et al., 2011; TOMASS et al., 2011).

O gênero *Jatropha*, constituído por 186 espécies, é uma importante fonte de metabólitos secundários, porém, existem estudos fitoquímicos para apenas 20 destas espécies. Os compostos reportados para as espécies deste gênero são considerados como biorecursos, principalmente para o desenvolvimento de produtos de interesse para a indústria farmacêutica. Dentre as classes de metabólitos secundários obtidos estão os flavonoides, os alcaloides, cumarinas, ligano-cumarinas, antraquinonas, glucosídeos não cianogênicos, ciclopeptídeos, fitoesteróis, terpenos, entre outros (CÓRDOVA-ALBORES, 2014). Ao realizar o *screening* fitoquímico de folhas de *J. curcas* verificou-se a presença de açúcares redutores, alcaloides, carotenoides, catequinas, depsídeos e depsidonas, esteroides e triterpenoides, proteínas e aminoácidos, saponina espumídica e taninos (TRINDADE et al., 2012).

As sementes da planta não são somente uma fonte de biodiesel, mas também contém vários metabólitos de importância farmacêutica. A exploração comercial de produtos biofarmacêuticos e produção de bioenergia são alguns dos potenciais desta espécie (DEBNATH e BISEN, 2008).

Diversos usos medicinais de partes de plantas de *J. curcas* foram relatados (AREKEMASE et al., 2011; SALIM et al., 2018). A planta contém, tipicamente, misturas de diferentes compostos químicos que podem atuar individualmente, de forma aditiva ou sinérgica, para a melhoria da saúde. Numerosas substâncias biologicamente ativas foram isoladas e caracterizadas a partir de todas as partes da planta e os seus mecanismos de ação têm sido associados a um grande número de aplicações na medicina tradicional em diversas regiões do mundo (PRASAD et al., 2012).

Em estudos sobre atividade citotóxica de extratos desta espécie observou-se que extratos da raiz reduziram o crescimento de células tumorais *in vitro*, e que a seleção de diterpenoides puros existentes nos extratos de espécies do gênero *Jatropha* e isolados a partir de *J. curcas*, como por exemplo, curcusona C, D, multidiona curcusona, 15-epi-4Z-jatrogrossidentadiona, 4Z-jatrogrossidentadiona, 4E-jatrogrossidentadiona, 2-hidroxi isojatrogrossidiona, e 2-epi-hidroxi isojatrogrossidiona, foram igualmente testados, e também apresentaram atividade citotóxica (AIYELAAGBE et al., 2007).

O óleo de *J. curcas* possui ação purgante e é também amplamente utilizado contra doenças de pele e problemas reumáticos. Uma decocção de folhas contra a tosse pode ser usada como antisséptico. Em várias espécies do gênero *Jatropha*, utilizadas na medicina popular em áreas tropicais, o princípio ativo é o diterpeno macrocíclico jatrophona, que está relacionado aos diterpenoides inativos jatrolona A e B (KAMAL et al., 2011).

Ao realizar uma triagem de inibidores da acetilcolinesterase dos extratos acetato de etila e metanol de plantas medicinais brasileiras de usos tradicionais, que podem estar relacionadas com a inibição da acetilcolinesterase, enzima associada ao mal de Alzheimer, observou-se que as espécies mais ativas foram *Ipomoea asarifolia* (CI50 = 0,12 mg mL⁻¹), *Jatropha curcas* L. (CI50 = 0,25 mg mL⁻¹), *Jatropha gossypifolia* (CI50 = 0,05 mg mL⁻¹), *Kalanchoe brasiliensis* (CI50 = 0,16 mg mL⁻¹) e *Senna alata* (CI50 = 0,08 mg mL⁻¹) (FEITOSA et al., 2011).

Em outro estudo, o extrato de folhas de *J. curcas* (10-80 mg kg⁻¹) provocou inibição significativa na ovalbumina e a redução de ácido acético em camundongos. A triagem fitoquímica realizada neste trabalho revelou a presença de flavonoides, esteroides, triterpenoides alcaloides, taninos e saponinas em extrato de folhas de *J. curcas*, podendo-se afirmar que este extrato pode ser recomendado contra doenças inflamatórias agudas e doenças associadas a dores (UCHE e APRIOKU, 2008).

Na agricultura, as folhas e frutos de *J. curcas* podem ser usados no controle de fitopatógenos e pragas, tendo sido relatados, principalmente, trabalhos referentes às atividades pesticida, com ação sobre térmitas e lagartas (ACDA, 2009; RATNADASS e WINK, 2012; ALONSO e SANTOS, 2013) e fungicida, com efeito sobre fungos da espécie *Colletotrichum gloeosporioides* (RAHMAM et al., 2011) pelo óleo das sementes ou pelo extrato das folhas (RAHMAM et al., 2014).

Em estudos sobre proteínas e peptídeos de *J. curcas*, suas aplicações nutricionais e terapêuticas, assim como as qualidades nutricionais da semente e os concentrados ou isolados de proteínas preparados a partir da torta de sementes, observou-se a presença de proteínas biologicamente ativas na proteção de plantas, como a aquaporina, betaína aldeído desidrogenase (função na resistência à seca), β-glucanase (atividade antifúngica), assim como aquelas que possuem propriedades farmacêuticas e peptídeos cíclicos com várias atividades biológicas, tais como antiproliferativo, imunomoduladores, além de atividade antifúngica e antimalárica (DEVAPPA et al., 2010).

A análise do extrato vegetal para a caracterização fitoquímica das folhas de *J. curcas* geralmente é realizada pela técnica da cromatografia líquida com uso do equipamento denominado Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE).

Resultados de pesquisa, obtidos por meio do uso de HPLC, demonstram que o extrato de folhas de *J. curcas* possui um conteúdo significativo de metabólitos secundários, como alcaloides, glicosídeos cardíacos, glicosídeos cianogênicos, flobataninos, taninos, flavonoides e saponinas (EBUEHI e OKORIE, 2009; HIROTA et al., 2010), sendo que muitos destes

possuem propriedades antioxidantes, que são de interesse devido aos seus usos potenciais, especialmente como uma fonte rica de produtos biologicamente ativos (PAPALIA et al., 2017).

Outros estudos relatam o uso da técnica HPLC para a análise fitoquímica de extratos de folhas de diferentes espécies vegetais (AHMAD et al., 2012; OBAFEMI et al., 2016). Estas informações são importantes para identificação de metabólitos secundários e compostos de importância para a avaliação da bioatividade sobre diferentes organismos ou da viabilidade para fins medicinais (DOSHI e UNE, 2015; JOLLY e SHETYE, 2017).

2.4 Qualidade de sementes de *Jatropha curcas* L.

A semente é um insumo básico para a produtividade agrícola e a conservação do germoplasma. A qualidade de sementes é considerada um fator fundamental para o incremento de produtividade, sendo avaliada principalmente pelos níveis de germinação e vigor, essenciais para o bom estabelecimento da planta (KUMAR et al., 2016).

O vigor das sementes afeta o crescimento vegetativo e está relacionado com a produção das culturas. Com isso, o decréscimo na produção pode estar relacionado ao baixo vigor de suas sementes (TEKRONY e EGLI, 1991). Esta redução da produtividade geralmente está associada à utilização de lotes de sementes de baixa germinação e reduzido vigor (KOBORI et al., 2012), sendo necessária a avaliação para melhorar a eficiência da reprodução e a obtenção de sementes de melhor qualidade.

Para avaliação da qualidade de sementes podem ser utilizados uma série de testes fisiológicos, os quais, baseados em diferentes conceitos, podem resultar em interpretações divergentes dos resultados obtidos, especialmente quando há comparações de lotes com diferentes níveis de vigor (DIAS et al., 2014).

O potencial fisiológico das sementes pode ser afetado pelas condições de cultivo, beneficiamento, conteúdo de água, temperatura e umidade do local de armazenamento, além de danos severos nas sementes (PINTO et al., 2009). Além dos danos, as diferenças de espaços vazios entre as sementes dentro de cada lote podem ocorrer devido à desuniformidade de maturação, comuns em espécies que ainda não sofreram intenso processo de melhoramento genético e domesticação, e que possuem florescimento e produção de frutos e sementes muito desuniformes (SILVA et al., 2013).

A presença de espaços vazios no interior da semente pode prejudicar o potencial germinativo, devido a menor quantidade de substâncias de reservas armazenadas, essenciais para o fornecimento de energia e para os processos iniciais de germinação, uma vez que, a síntese de proteínas e a atividade respiratória inicial envolvem componentes armazenados durante a maturação das sementes (NONOGAKI et al., 2010).

Dessa forma, a determinação da qualidade das sementes depende de métodos de avaliação que permitem detectar com eficiência e rapidez as variações entre lotes e as possíveis causas da baixa qualidade (SOUZA et al., 2009), a exemplo do teste de condutividade elétrica (SILVA et al., 2017) e do teste de tetrazólio (ZAVALA-HERNÁNDEZ et al., 2015).

A integridade das membranas celulares, determinada por mudanças bioquímicas ou por ruptura física, pode ser considerada a causa fundamental das diferenças no vigor de sementes, sendo indiretamente determinadas pelo vazamento eletrolítico durante o teste de condutividade elétrica. Com isso, quanto maior a velocidade com que a semente é capaz de restabelecer a integridade da membrana, menor o vazamento de eletrólito. Assim, o vazamento de eletrólitos medido em sementes de alto vigor é inferior ao medido em sementes de baixo vigor (MILOŠEVIĆ et al., 2010).

Entretanto, deve-se ressaltar que além da sanidade, os valores de condutividade elétrica dos exudados das sementes correlacionam-se com o estágio de maturação dos frutos de *J. curcas* (SILVA et al., 2017). Altos valores obtidos em testes de condutividade elétrica observados em frutos verdes de *J. curcas* evidenciam que estas sementes oriundas de frutos imaturos ainda não apresentam uma organização ideal do sistema de membrana (VERONESI et al., 2014).

Os valores mais baixos de condutividade elétrica geralmente são encontrados em sementes de frutos amarelos e marrons, indicando alto vigor, provavelmente devido à melhoria da organização da membrana ao longo do processo de maturação (SILVA et al., 2012). Neste trabalho foram usados frutos completamente maduros.

Quando o processo de maturação fisiológica é alcançado, ocorre uma redução nos valores de condutividade elétrica, devido a melhor organização do sistema de membranas das células. Por outro lado, em sementes de frutos verdes (imaturas) ocorre grande vazamento de solutos devido à organização incompleta do sistema de membranas (VIDIGAL et al., 2011). Desta forma, o potencial fisiológico das sementes pode ser avaliado indiretamente pelos valores de condutividade elétrica, sendo que quanto maior a condutividade elétrica menor será o potencial fisiológico das sementes (VIEIRA et al., 1999).

O teste de 2,3,5 cloreto trifeniltetrazólio é um teste rápido de viabilidade de sementes, baseado na atividade de desidrogenases que catalisam a respiração mitocondrial, particularmente a desidrogenase do ácido málico, que reduz o sal nos tecidos vivos da semente, onde íons de hidrogênio são transferidos para o referido sal. Este teste correlaciona a viabilidade das sementes com a alteração da cor de tecidos vegetais viáveis, devido a uma reação de oxidação-redução envolvendo o 2,3,5 cloreto trifeniltetrazólio adicionado que é reduzido ao pigmento vermelho não difusível estável, conhecido como trifenilformazan, cuja presença indica respiração mitocondrial e permite diferenciação entre tecidos viáveis e não viáveis (FRANÇA NETO, 1999; MARCOS FILHO, 2005).

Apesar de também ser propagada por estaquia, a multiplicação de *J. curcas* por via seminal é o método mais usado, devido à sua facilidade de transporte, germinação e armazenamento, principalmente em ambientes controlados (ZONTA et al., 2014). Por não existir cultivares selecionadas e registradas, a propagação de *J. curcas* pela via sexuada origina plantas com alta variabilidade genética, porém com maior longevidade e mais vigorosas (RESENDE et al., 2013).

Estudos sobre a existência de variabilidade para o rendimento de sementes entre famílias de meio-irmãos de *J. curcas*, revelou a possibilidade de obtenção de ganhos a partir da seleção de genótipos superiores. Verificou-se que apesar da ocorrência de variação na produção de sementes durante três anos, o efeito da interação da família e ano não foi significativo (1 e 5% de probabilidade), e que as famílias mantiveram seu desempenho ao longo do tempo, o que evidencia o potencial desta espécie para maiores ganhos de rendimento (SPINELLI et al., 2014).

Ao avaliar a variabilidade entre características de sementes de 24 fontes de sementes de *J. curcas* oriundas da Ásia, África e Oceania, observou-se diferenças acentuadas no comprimento (15,9-19,0 mm), largura (10,2-11,7 mm), espessura (7,9-9,4 mm), peso de 100 sementes (42,67-80,20 g) e teor de óleo na semente (18,1-37,9%). Em geral, sementes de Laos, Mali, Papua Nova Guiné, Filipinas e Tailândia eram maiores e mais pesadas do que as sementes da China e da Índia, porém, continham menor teor de óleo. Observou-se ainda que o peso e o teor de óleo nas sementes são características úteis para explicar o padrão de variação entre as diferentes origens das sementes (SHEN et al., 2013).

No Brasil, genótipos de *J. curcas* selecionados por programas de melhoramento genético apresentam alta diversidade quanto às características das sementes, permitindo a exploração da variabilidade genética para classificação de genótipos (CHRISTO et al., 2014). Essas informações são essenciais para a tomada de decisão em programas de melhoramento, podendo ser usados como suplementos em estudos de germinação, vigor e viabilidade das sementes.

2.5 Melhoramento genético de *Jatropha curcas* L.

O melhoramento de plantas é uma área dinâmica da ciência aplicada e baseia-se na variação genética, usando a seleção para melhorar as características de interesse das plantas para o agricultor, tais como produtividade, qualidade ou resistência às doenças (ASÍNS, 2002).

O melhoramento genético de plantas têm sido objetivo básico e essencial, uma vez que o cultivo de espécies de forma organizada iniciou-se há milhares de anos. Nesta época, a seleção de espécies baseadas na aceitação para o consumo e o cultivo em pequenas áreas resultou na sobrevivência das espécies escolhidas de acordo com a sua capacidade de resistir à nova condição de desenvolvimento. Hoje, estresses abióticos como um todo são considerados como os fatores cruciais que restringem o desenvolvimento, o potencial genético e a produtividade das espécies de plantas.

O melhoramento de plantas na sua forma convencional baseia-se na seleção fenotípica de plantas superiores dentro de populações segregantes oriundas de cruzamentos. Nesta prática, existem inúmeras dificuldades, especialmente em relação às interações genótipo *versus* ambiente. Além disso, os procedimentos de seleção fenotípica são muitas vezes dispendiosos, demorados e, em alguns casos, impossíveis, como algumas seleções para a tolerância ao estresse abiótico (SCHUSTER, 2011).

As cultivares de alto rendimento e estáveis são o principal objetivo de qualquer programa de melhoramento genético. Muitas cultivares de alto rendimento não são comercialmente bem-sucedidas devido à baixa estabilidade, enquanto outras altamente estáveis não fornecem retorno econômico adequado. O desenvolvimento de cultivares estáveis e de alto rendimento é um grande desafio para os melhoristas. O rendimento é essencialmente uma complexa característica quantitativa controlada por numerosos genes de pequenos efeitos individuais que são altamente influenciados pelo meio ambiente (BORÉM et al., 2002).

Em espécies florestais, de modo geral, as estratégias básicas de melhoramento podem ser resumidas em seleção de procedências e seleção individual dentro das populações-base, utilizando-se a variabilidade natural existente dentro das populações e entre os indivíduos. Para recombinação do material genético selecionado, bem para continuação da seleção recorrente, utilizam-se locais conhecidos como áreas de coleta e produção de sementes ou pomares de sementes por mudas clonais. Testes de progênie convencionais são utilizados para a seleção dos indivíduos superiores (GOLLE et al., 2009).

Apesar de muitos aspectos específicos da espécie de natureza técnica, o melhoramento de culturas perenes por técnicas tradicionais depende de uma série de etapas sucessivas de campo que envolvem: (i) uma fase de pré-melhoramento, na qual as coleções de germoplasma são caracterizadas para estabelecer populações melhoradas com base em informações genéticas e desempenho individual; (ii) uma fase de melhoramento em que os melhores indivíduos da população melhorada são recombinados para formar progênies superiores, que são avaliadas em campo por uma série de características de interesse para seleção posterior dos melhores indivíduos com base em seu valor reprodutivo ou valor genético; e (iii) uma fase de desenvolvimento de variedades elite, em que os indivíduos previamente selecionados com base no seu valor genético são propagados para o estabelecimento de ensaios clonais, de modo que os clones elite sejam selecionados, de acordo com seu desempenho. Os indivíduos selecionados durante a fase de melhoramento formarão uma nova população melhorada, avançando o esquema geral de reprodução. No caso de culturas perenes, é provável que tal esquema abranja vários anos (10 a 14 anos no caso *J. curcas*) (ALVES et al., 2015).

A engenharia genética permite o melhor entendimento da natureza complexa de estresses abióticos e da estimativa da diversidade genética entre indivíduos ou populações, visando a melhoria da produtividade da cultivar sob condições adversas, havendo grande necessidade em acelerar os programas de melhoramento de culturas, pelo uso de ferramentas biotecnológicas modernas (GILL et al., 2014).

Quando há cruzamento de divergentes linhagens/genótipos parentais, poderá ocorrer a heterose. Também conhecida como vigor híbrido, na heterose a progênie exibe crescimento robusto, resistência a doenças e pode atingir produtividades muito superiores aos parentais, melhorando a rentabilidade do produtor e eliminando possíveis inconsistências indesejáveis. Desta forma, a heterose é a expressão genética das diferenças de desenvolvimento entre híbridos

e seus pais, sendo este vigor híbrido uma das maiores contribuições práticas da genética (PATERNIANI, 2001).

Desta forma, a heterose é um fenômeno natural pelo qual descendentes híbridos de indivíduos geneticamente diversos exibem características físicas e funcionais melhoradas em relação aos pais. A heterose tem sido cada vez mais aplicada na produção agrícola, com o objetivo de desenvolver cultivares mais vigorosas, de maior rendimento e de melhor desempenho, sendo basicamente divididas em três categorias de utilização em programas de pré-melhoramento e melhoramento: heterose intraespecífica, heterose intersubspecífica e heterose de hibridação ampla, com foco especial em espécies poliploides (FU et al., 2014).

A heterose intersubspecífica é o resultado do cruzamento entre duas subespécies, enquanto a heterose interespecífica resulta do cruzamento entre duas espécies diferentes. A heterose intraespecífica é o fenômeno pelo qual a progênie do cruzamento de genitores da mesma espécie apresenta desempenho agrônômico aprimorado em relação às linhas parentais, como na maioria das variedades alógamas (RIBOU et al., 2013; FU et al., 2014).

Além da heterose, o vigor híbrido pode ser avaliado pela comparação com o genitor de melhor desempenho, pela estimativa da heterobeltiose. Com isso, o potencial do híbrido pode ser estimado em termos de porcentagem de aumento ou diminuição de seu desempenho em relação ao meio-pai ou valor médio entre dois genitores (heterose) e ao melhor genitor (heterobeltiose). A heterobeltiose é mais eficaz do que a heterose, cujo objetivo é a identificação de híbridos superiores. No entanto, a seleção de genitores promissores para obtenção de híbridos superiores depende da predominância de genes com efeito aditivo (GOWDA et al., 2010; BECHE et al., 2013).

Embora a base biológica da heterose permaneça desconhecida, os melhoristas fazem uso desse fenômeno e, geralmente, acredita-se que a compreensão de mecanismos subjacentes à heterose aumentará a capacidade de gerar novos genótipos, que podem ser usados como híbridos F₁ ou como material genético para futuras seleções em programas de melhoramento genético vegetal (TSAFTARIS e KAFKA, 1997).

Apesar da relevância para obtenção de híbridos superiores, poucos estudos sobre as estimativas da heterose e da heterobeltiose são relatadas para *J. curcas* (ISLAM et al., 2011; TAR et al., 2011). De modo geral, o melhoramento de *J. curcas* visa a obtenção de cultivares com alta produtividade de sementes e óleo, com ausência ou baixa concentração de toxidez nas sementes, tolerantes aos estresses bióticos e abióticos e adaptadas às diferentes condições de cultivo (JUHÁSZ et al., 2013).

J. curcas combina três grandes vantagens em comparação com outras oleaginosas: é uma espécie não alimentícia, apresenta bom potencial de rendimento e o óleo possui excelentes propriedades para a produção de biodiesel, com elevado teor de ácido oleico (TURYNAYO et al., 2015; KASSAHUN et al., 2016). Além disso, a espécie possui vários benefícios secundários, pois pode produzir frutos por até 40 anos e é tolerante à seca. Apesar destas vantagens, *J. curcas* ainda é uma promessa, pois ainda não há cultivares disponíveis, o conhecimento agrotecnológico é limitado e a domesticação desta cultura ainda está em estágio inicial (DIAS, 2011).

A identificação de progênies que mantêm sua superioridade em diferentes regiões subsidia recomendações mais amplas de plantio. Como estas plantas nem sempre podem ser encontradas nas populações de melhoramento, procura-se discriminar as progênies de adaptabilidade geral e específica daquelas de baixa adaptabilidade. Porém, o estudo dos padrões de herança de características de produção indica que, para se obter maior eficiência de seleção, deve-se inicialmente selecionar plantas de maior potencial produtivo, para somente então, avaliar a adaptabilidade e estabilidade em um número maior de ambientes (CRUZ et al., 2004; ROCHA et al., 2016).

Neste sentido, a domesticação desta espécie pode representar uma poderosa forma de gestão socioeconômica envolvendo a geração de renda, mitigação das mudanças climáticas, agricultura e desenvolvimento sustentável. As estratégias de domesticação devem ser simples

e desenvolvidas em cooperação com os agricultores. É necessário realizar o cruzamento e melhoramento entre indivíduos superiores. Contudo, ainda são poucos os estudos sobre a interação genótipo x ambiente, visando a obtenção de materiais adaptados às diferentes condições edafoclimáticas (ACHTEN et al., 2010).

Valores de produção de sementes por planta variando entre 23,80 e 285,10 g, com média de 81,26 g, foram obtidos em híbridos resultantes de cruzamentos interespecíficos (*J. curcas* x *J. integerrima*) entre genótipos da Índia (UMAMAHESWARI et al., 2010). Ao estimar os parâmetros genéticos para obtenção de combinações híbridas superiores de *J. curcas*, verificou-se que os valores de herdabilidade no sentido amplo foram elevados para altura da planta (76 a 95%), diâmetro do colo (55 a 89%) e número de folhas (33 a 86%). Para estas características, foram observados também valores de heterose e de heterobeltiose negativos e positivos, revelando que a existência de dominância ou ações genéticas não aditivas podem estar presentes nos híbridos (BIABANI et al., 2012).

Em estudos sobre a avaliação da produtividade de onze híbridos e seus parentais em diferentes regiões secas da Indonésia foi verificado maior peso de sementes por hectare de 1.170 kg ha⁻¹, com peso de 100 sementes de 62,33 g e teor de óleo de 32,56%. A maior média de produção dos locais de plantio avaliados foi de 658,75 kg ha⁻¹ (MAFTUCHAH et al., 2013).

Ao avaliar a produtividade de híbridos de *J. curcas* e de suas progênes oriundas de cruzamentos entre genótipos do Equador e do Senegal, observou-se que as características biométricas dos frutos dos híbridos apresentaram os maiores valores de heterose. Quanto aos dados qualitativos, os híbridos apresentaram a mesma cor da folha e do pecíolo que o ecótipo do Senegal e o mesmo tamanho de folha do ecótipo do Equador (AYIZANNON et al., 2017).

2.5.1 Biotecnologia aplicada a *Jatropha curcas* L.

Para a cultura de *J. curcas*, existe uma grande diferença entre o rendimento potencial e o rendimento real, devido principalmente ao uso dos materiais genéticos disponíveis serem considerados selvagens ou não domesticados, havendo a necessidade da criação de programas de pré-melhoramento e melhoramento genético, visando a obtenção de cultivares de alto rendimento, sob diferentes condições edafoclimáticas (GOHIL e PANDYA, 2008).

Programas desenvolvidos em vários países tropicais para uso de *J. curcas* na produção de biodiesel tiveram sucesso limitado devido à má qualidade da semente e ao baixo rendimento de óleo. No Brasil, estudos com esta espécie também estão sendo realizados e foram iniciados de forma intensiva nos últimos anos. No entanto, ainda não existem cultivares melhoradas de *J. curcas* registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para atender a demanda para o plantio em escala comercial.

Devido a inexistência de cultivares ou variedades registradas de *J. curcas* para o cultivo comercial no Registro Nacional de Cultivares, visando o fornecimento de óleo para atender ao Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), foi estabelecida a Instrução Normativa nº 4, de 14 de janeiro de 2008, do MAPA (BRASIL, 2008), que trata da comercialização de materiais de propagação vegetal de *J. curcas* entre produtores sem o devido registro no órgão competente.

As atividades antrópicas exercem grande influência sobre a diversidade genética de *J. curcas* (MAGHULY et al., 2015). Caracteres morfológicos, teores de óleo e outros componentes químicos variam consideravelmente entre diferentes procedências de *J. curcas*. Essa variação nesses constituintes é muito importante para as pesquisas sobre melhoramento vegetal direcionadas para a exploração econômica desta cultura (DRUMOND et al., 2009).

Nos mais diversos programas de melhoramento genético de plantas, o processo de seleção dos genótipos que apresentam características agronomicamente desejáveis é realizado com base nas informações fenotípicas dos indivíduos. Este procedimento muitas vezes apresenta-se dificultoso, sobretudo para os caracteres de baixa herdabilidade, pois como a grande maioria dos caracteres de importância agrônômica são de natureza quantitativa, ou seja,

controlados por um grande número de genes, esses são altamente influenciados pelas interações ambientais na expressão do fenótipo (TOPPA e JADOSKY, 2013).

Dentre as estratégias adotadas em programas de melhoramento genético, a biotecnologia tem sido um agente de grande importância, principalmente com o uso de marcadores moleculares. Os marcadores moleculares podem ser classificados em diferentes grupos, com base no modo de transmissão (herança nuclear biparental, herança materna nuclear ou herança paterna), pelo modo de ação do gene (marcadores dominantes ou codominantes) e pelo método de análise (baseada em hibridação ou marcadores baseados em PCR) e pela região do genoma que é amostrada e analisada. As aplicações mais básicas das técnicas de marcadores moleculares na seleção assistida incluem a análise de diversidade genética, a identificação de variedade e o isolamento de marcadores intimamente ligados com genes específicos (WASEEM et al., 2012).

Além disso, os marcadores moleculares podem ser utilizados em diferentes etapas de um programa de melhoramento de plantas, como caracterização de germoplasma, estudos de *pedigree* e evolução, seleção parental para cruzamento, teste de pureza genética de sementes, proteção de cultivares, estabelecimento de estratégias de melhoramento, construção de mapas de ligação e mapeamento de genes, QTLs associados aos processos biológicos e teste de confirmação híbrida F₁ (SAKYIAMA et al., 2014).

A tecnologia de marcadores moleculares viabiliza a caracterização genética de grande número de genótipos por procedimentos relativamente simples e rápidos. Com o auxílio destas técnicas, são possíveis progressos na seleção de genitores para a obtenção de genótipos superiores em programas de melhoramento (BERED et al., 1997).

Os marcadores moleculares de DNA são os tipos mais utilizados devido à sua abundância. Eles surgem a partir de diferentes classes de mutações de DNA, tais como mutações de substituição, rearranjos ou erros na replicação de DNA. Estes marcadores são seletivamente neutros, porque eles são, geralmente, localizados em regiões de DNA não codificantes em um cromossomo e possuem um número ilimitado, não sendo afetados por fatores ambientais ou pela fase de desenvolvimento da planta (GOVINDARAJ et al., 2015). Possuem inúmeras aplicações no melhoramento de plantas, tais como: marcador de avaliação de materiais de reprodução assistida, estimativa da diversidade genética, seleção parental, avaliação da pureza de uma cultivar, estimativa da heterose e identificação de regiões genômicas (WINTER e KAHL, 1995).

Deve-se ressaltar também que em programas de melhoramento genético, o conhecimento da diversidade genética entre espécies ou entre indivíduos de uma mesma espécie se faz necessário, uma vez que afeta as potencialidades evolutivas da população. Para a estimativa da diversidade genética inter e intrapopulacional, vários tipos de marcadores moleculares como *Random Amplified Polymorphic DNA* (RAPD), *Amplified Fragment Length Polymorphism* (AFLP), *Simple Sequence Repeat* (SSR) e *Inter Simple Sequence Repeat* (ISSR), foram utilizados na avaliação de germoplasma de *J. curcas* (CAI et al., 2010).

Gopale e Zunjarrao (2013) ao avaliarem a diversidade genética de *J. curcas* com o uso do RAPD, observaram que os acessos de Maharashtra, Índia, constituem uma ampla e rica base genética para seleção de material genético de interesse em programas de melhoramento genético desta espécie, podendo esta diferença ser atribuída ao elevado nível de polinização cruzada e à natureza desta interação a partir de diferentes fontes genéticas.

Outro marcador molecular frequentemente usado em estudos sobre a variabilidade genética em *J. curcas* é ISSR (*Inter Simple Sequence Repeats*). Os marcadores ISSR geralmente apresentam alto polimorfismo, sendo uma técnica simples e rápida, onde a utilização de radioatividade não é necessária (SEMAGN et al., 2006).

O potencial para a integração de ISSR-PCR em programas de melhoramento genético é enorme. A técnica de marcadores ISSR envolve a amplificação de um segmento de DNA entre duas regiões microssatélite idênticas orientadas em direções opostas (IDREESS e IRSHAD, 2014).

Os produtos amplificados apresentam, frequentemente, 200-2.000 pb de comprimento e podem, geralmente, ser detectados por gel de agarose ou gel poliacrilamida. Os marcadores ISSR exibem a especificidade de marcadores microssatélites, mas não necessitam de informações da sequência para a síntese de um *primer*, por serem marcadores aleatórios (KESAWAT e DAS KUMAR, 2009).

Por serem altamente polimórficos, os marcadores ISSR são utilizados em estudos de diversidade genética, marcação de gene, estudos filogenéticos, biologia evolutiva e estudos de mapeamento do genoma (REDDY et al., 2002).

A análise de variação genética determinada por marcadores ISSR, revelou a existência de pelo menos seis grupos distintos de genótipos de *J. curcas* cultivados na Tailândia (BOONVITTHYA et al., 2013). Recentemente, *J. curcas* tem recebido grande atenção em estudos biológicos, principalmente sobre genes envolvidos nas vias biossintéticas de lipídios e ácidos graxos (GOMES et al., 2010; CHEN et al., 2011).

Diversos outros estudos sobre a diversidade genética entre genótipos de *J. curcas* com o uso de marcadores ISSR foram reportados nas diferentes regiões do mundo (VIJAYANAND et al., 2009; MAGHULY et al., 2011; TANYA et al., 2011), evidenciando a relevância e a eficiência do uso desta técnica em programas de melhoramento genético desta espécie, direcionados principalmente para produção de sementes e de óleo (SHEN et al., 2013).

2.5.2 Estimativa de parâmetros genéticos

O conhecimento dos componentes da variabilidade fenotípica é de grande importância para a escolha dos métodos de melhoramento e para a predição dos ganhos com seleção. A variabilidade fenotípica pode ser conhecida por meio das estimativas de herdabilidade, dos coeficientes de correlação fenotípica, genotípica e ambiental, das variâncias genotípicas e fenotípicas, entre outros parâmetros genéticos, permitindo assim, a predição dos ganhos decorrentes da seleção e a definição das estratégias de melhoramento que devem ser adotadas (ROSSMANN, 2001).

Informações sobre a variância genotípica, herdabilidade e índice de variação são determinantes na escolha do método de melhoramento mais adequado à cultura e permitem fazer inferências sobre a predição de ganhos com a seleção. Estimativas da herdabilidade ampla de características de plantas são importantes por terem relação com a seleção e quanto maior o valor estimado desse parâmetro, maior será a chance de sucesso com a seleção (CRUZ e REGAZZI, 1994).

No sentido amplo, a herdabilidade (H ou h^2) pode ser definida como a razão entre a variância genotípica e a fenotípica. No sentido restrito, a herdabilidade pode ser definida como a razão da variância aditiva pela fenotípica. Sendo assim, a herdabilidade varia de acordo com as diferentes características agronômicas e as estimativas de herdabilidade e de componentes de variância, que podem orientar o melhorista durante as fases de criação da variabilidade genética, seleção de indivíduos superiores na população segregante e a utilização dos indivíduos selecionados no programa (BORÉM e MIRANDA, 2013).

A informação sobre a magnitude de vários componentes da variação genética é importante para a determinação da melhor seleção e processo de reprodução para um determinado conjunto de materiais em circunstâncias determinadas (SUBANDI e COMPTON, 1974). O grande número de variação e os altos valores de herdabilidade, para algumas características, determinam o potencial de seleção entre indivíduos de uma população (HADINI et al., 2015).

Em estudos envolvendo estimativas de parâmetros genéticos e variabilidade em progênies de *J. curcas*, coletadas em diferentes regiões do Brasil e Camboja, a partir da análise das sementes de plantas-mãe, observaram que o teor médio de óleo é de 31%, com conteúdo variando entre 16% a 45%. Além dessa característica há grande variação também para peso de 100 sementes, comprimento e largura de sementes. Os maiores valores de herdabilidade em sentido restrito foram encontrados para os caracteres comprimento de folha (0,35), largura da

folha (0,34), diâmetro do caule (0,24) e comprimento dos ramos (0,21). Essas informações sobre a variabilidade são muito importantes para programas de melhoramento direcionados ao aumento da produtividade e do teor de óleo em sementes de *J. curcas* (FREITAS et al., 2011).

Ao estimar a diversidade genética entre oito genótipos de *J. curcas* oriundos de diferentes regiões da China, Laos e Tailândia, baseado em análise de caracteres morfoagronômicos (comprimento, largura, espessura e peso de 100 sementes), observou-se que as características de sementes podem ser usadas como um importante indicador para estimativa da variabilidade fenotípica em programas de melhoramento em *J. curcas* (GUAN et al., 2013).

Estudos relatam ampla gama de variação de produtividade de sementes de *J. curcas* em diferentes regiões do mundo (ACHTEN et al., 2008). A grande variação deve-se principalmente às diferentes condições edafoclimáticas e à diversidade genética entre os genótipos avaliados (YANG et al., 2010). Diversos outros estudos sobre a estimativa de parâmetros fenotípicos (VIJAYANAND et al., 2009; ZAPICO et al., 2011) corroboram com os resultados apresentados acima. Entretanto, a alta variabilidade morfológica nem sempre reflete uma grande variabilidade genotípica, uma vez que a diversidade fenotípica pode estar associada à variação genotípica, onde as interações genótipo-ambiente exercem papéis predominantes em alterações morfológicas dos genótipos de *J. curcas* (RAFII et al., 2012; XU et al., 2012).

Em estudo sobre a variabilidade genética entre genótipos de *J. curcas*, constatou-se altos valores na estimativa de herdabilidade para o comprimento e largura de sementes (82,1 e 77,7%) (GALAPIA et al., 2012). A obtenção de elevados valores durante a estimativa da herdabilidade indicam que os tratamentos foram influenciados mais por fatores genéticos do que por fatores ambientais. Altos valores de herdabilidade (69 a 94%) também foram observados em estudo sobre os parâmetros genéticos quantitativos (produção e teor de óleo) e qualitativos (florescimento) em sementes de 375 genótipos de *J. curcas* oriundos da Argentina, Paraguai, Índia e Camarões (MARTINS e MONTES, 2015).

O estudo da magnitude das estimativas de herdabilidade, dos coeficientes de correlação genética e fenotípica, das estimativas de ganhos esperados com a seleção, e as implicações dos efeitos ambientais sobre estas estimativas, refletidas na interação entre genótipos e ambientes, são de fundamental importância para a condução de um programa de melhoramento.

2.6 Análise de trilha como critério de seleção indireta para produção

O estudo das correlações entre variáveis é aplicável em quase todos os campos de pesquisa. A correlação simples permite avaliar a magnitude e o sentido da associação entre duas variáveis, mas não fornece as informações necessárias entre os efeitos diretos e indiretos de um grupo de variáveis independentes em relação a uma variável dependente. Desta forma, a análise de trilha consiste no desdobramento das correlações em efeitos diretos e indiretos, permitindo medir a influência direta de uma variável, independente das demais, sobre a outra, onde as estimativas (caminho ou trilha) que quantificam estes efeitos são obtidas por meio de equações de regressão, em que as variáveis são previamente padronizadas (de SOUZA, 2013).

A execução da análise de trilha é geralmente realizada em duas etapas. A primeira é a construção de um diagrama de caminho, muito útil para a exibição do padrão de hipóteses da relação causa/efeito entre um conjunto de variáveis. A segunda parte refere-se à decomposição das correlações observadas em um conjunto de coeficientes, que indica o efeito direto de uma variável hipoteticamente tomada como causa sobre uma variável tratada como efeito (de SOUZA, 2013).

Como o estudo das correlações entre caracteres não considera as relações causa/efeito entre caracteres primários e secundários, determinantes de rendimento, a análise de trilha consiste em estudar os efeitos diretos e indiretos de traços em uma variável básica. Com isso, a análise do caminho fornece uma compreensão detalhada das influências dos traços envolvidos em um diagrama predeterminado e justifica a existência de correlações positivas e negativas, e altas e baixas magnitudes entre os caracteres avaliados (CRUZ e CARNEIRO, 2006; SILVA et al., 2016).

Na cultura de *J. curcas*, a análise de trilha vem sendo utilizada como ferramenta valiosa em programas de melhoramento genético (DAS et al., 2010; MAURYA et al., 2015). Ao avaliar a influência de caracteres agronômicos sobre a produtividade de grãos de *J. curcas* cultivado em Planaltina-DF verificou-se, pela análise de trilha, que 76% da variação em produtividade foi determinada pelas variáveis explicativas, valor adequado para explorar os ganhos com a seleção direta e indireta em *J. curcas*. Os autores observaram que os caracteres diâmetro do caule, massa de 100 sementes e projeção da copa na entrelinha influenciam diretamente a produtividade de grãos, sendo indicados para seleção direta, assim como para a seleção indireta de progênies superiores de pinhão-manso para produtividade de grãos (TEODORO et al., 2016).

Em experimento conduzido com cultivo de *J. curcas* localizado no município de Arquimedes, Rondônia, verificou-se que a produtividade de grãos apresentou efeito direto e positivo sobre o rendimento de óleo, e o volume de copa mostrou-se como um dos principais componentes de efeito indireto e positivo sobre a variável principal. Na população de melhoramento avaliada, as estimativas dos efeitos diretos e indiretos indicaram que a seleção de plantas de maior rendimento de óleo deve considerar genótipos de maior produtividade de grãos e maior volume de copa.

Desta forma, por meio do conhecimento dos efeitos diretos e indiretos que as variáveis explicativas exercem sobre uma variável principal, é possível estabelecer as estratégias, que serão de forma mais eficiente, empregadas na seleção de genótipos superiores em programas de melhoramento genético.

2.7 Teor e Composição do óleo de *Jatropha curcas* L.

J. curcas possui teor de óleo de boa qualidade para a produção, com rendimento médio de 20 a 38% (NUNES et al., 2008; TAMBUNAN et al., 2012). O fato de ainda não ser considerada uma espécie comestível e poder ser cultivada sob condições adversas, torna o óleo de sementes de *J. curcas* uma matéria-prima potencial para produção comercial de biodiesel, sendo necessários estudos direcionados à correlação entre os componentes de produção e a influência de caracteres de diferentes materiais genéticos sobre o rendimento do óleo de sementes.

O óleo das sementes de *J. curcas* é um produto muito valioso, pois pode ser convertido em biodiesel, sendo o cultivo desta oleaginosa uma fonte promissora para a produção de biocombustíveis (PARAWIRA, 2010).

As principais propriedades do biodiesel, como o índice de cetano, o calor de combustão, o fluxo a frio, a estabilidade oxidativa, a viscosidade e a lubrificação, são influenciadas pelo perfil de ácidos graxos (KNOTHE, 2005). Com isso, a estabilidade e a melhoria da composição de ácidos graxos no óleo de sementes são importantes para a seleção de culturas oleaginosas, principalmente para a produção de biodiesel (WU et al., 2009).

A quantidade de óleo extraído em sementes depende do método de extração. Os dois principais métodos de extração de óleo são o mecânico (prensagem) e o químico (extração por solvente). Na extração por prensagem realiza-se o esmagamento das sementes para remoção do óleo. Na extração química, o óleo é extraído com solventes apolares por diferentes métodos de extração, dentre eles o Soxhlet (SOXHLET, 1879).

A extração por Soxhlet é uma ferramenta útil, sendo uma das técnicas mais importantes para extração de óleos. Durante a extração, o sistema permanece a uma temperatura relativamente alta, por efeito do calor aplicado ao balão de destilação atingindo a cavidade de extração até certo ponto. A extração de Soxhlet é um método simples e pode extrair mais massa de amostra do que a maioria dos outros métodos usados, como extração assistida por micro-ondas e a extração de fluido supercrítico. Além disso, existe uma grande variedade de métodos oficiais envolvendo a preparação de uma amostra com base na extração de Soxhlet (de CASTRO e PIEGO-CAPOTE, 2010).

Em trabalhos realizados com sementes de *J. curcas*, pelo método Soxhlet, com o uso de diferentes solventes (principalmente hexano, isopropanol e éter de petróleo), evidenciou-se a variação no rendimento do óleo das sementes (SHIVANI et al., 2011; ABDULHAMID et al., 2013; CHANDRA et al., 2013). Esta variação pode estar relacionada às características genéticas dos genótipos usados, às condições edafoclimáticas, à qualidade da semente, ao tipo de solvente usado e ao método de extração adotado.

As propriedades do biodiesel de *J. curcas* diferem das do biodiesel obtido de composições de ácidos graxos de biomassa convencionais (SARKER, 2016), sendo o teor de óleo de *J. curcas* semelhante ou superior aos relatados para outros óleos vegetais (Tabela 2.2).

TABELA 2.2 - Rendimento e composição de ácidos graxos de óleos de espécies oleaginosas.

Espécie	Ácido oleico	Ácido linoleico	Ácido esteárico	Ácido palmítico	Teor de óleo	Referências
%					
<i>J. curcas</i>	34-52	21-44	4-11	14-18	20-55	Berchmans e Hirata (2008); Nayak e Patel (2010); Ugbogu et al. (2014); Albasha et al. (2015)
<i>Mamona</i>	2-7	0,5-10	1-3	0,7-2	30-50	Salimon et al. (2010); Yusuf et al. (2015); Huang et al. (2015); Regitano Neto et al. (2016); Angeloni et al. (2017); Sher et al. (2018)
<i>Girassol</i>						
<i>Algodão</i>	14-17	45-55	3-4	5-25	25-30	Khan et al. (2010); Oliveira et al., (2016); Konuşkan et al. (2017)
<i>Soja</i>	4-35	10-53	10-20	9-13	12-27	Lee et al. (2007); Albrecht et al. (2008); Jiao et al. (2012); Peiretti et al. (2018)

Fonte: Próprio autor

Outro aspecto levado em consideração para avaliar a qualidade do óleo está relacionado a sua composição química. Nesse caso, os ácidos graxos assumem importância, pois a sua proporção indica a qualidade para a produção de biodiesel. Uma das propriedades mais importantes relacionadas à qualidade do óleo é o teor de ácido graxo livre.

Os ácidos graxos são classificados de acordo com a presença ou ausência de ligações duplas como saturados (ácidos graxos sem ligações duplas), monoinsaturados (ácidos graxos com uma dupla ligação) e poli-insaturados (ácidos graxos com duas ou mais ligações duplas). Além disso, podem ser classificados como *cis* ou *trans*, com base na configuração das ligações duplas e como ácidos graxos poli-insaturados n-3 ou n-6, dependendo da posição da primeira dupla ligação do ácido graxo final (ORSAVOVA et al., 2015).

Os monoenos mais comuns possuem um comprimento de cadeia de 16-22 e uma ligação dupla com a configuração *cis*. Isso significa que os átomos de hidrogênio em ambos os lados da dupla ligação estão orientados na mesma direção. Os isômeros *trans* podem ser produzidos durante o processamento industrial (hidrogenação) de óleos não saturados. Os ácidos graxos *cis* têm pontos de fusão mais baixos do que os ácidos graxos *trans* ou os seus equivalentes saturados. Em ácidos graxos poli-insaturados, a primeira ligação dupla pode ser encontrada entre o terceiro e o quarto átomo de carbono (RUSTAN e DREVON, 2005).

O óleo de *J. curcas* possui alto teor de ácidos graxos insaturados (78 a 84%). Os ácidos graxos que compõem o óleo de *J. curcas* são basicamente o ácido oleico (43,1%), ácido linoleico (34,3%), ácido esteárico (6,9%), ácido palmítico (4,2%) e outros ácidos (1,4%) (BASILI e FONTINI, 2012). O ácido oleico é um ácido graxo, naturalmente encontrado em muitas plantas e em alguns produtos de origem animal (KAZADI et al., 2014) e um dos

principais ácidos monoinsaturados de glicerolípido de membrana em plantas e animais. É também um componente importante do óleo.

Os outros ácidos encontrados em grande quantidade em óleo de sementes de *J. curcas* são os ácidos linoleico, esteárico e palmítico. O ácido linoleico é o ácido graxo insaturado ômega-6 com 18 carbonos e duas insaturações.

O produto final da enzima sintetase do complexo multienzimático de ácidos graxos é o ácido palmítico (16:0), que pode ser alongado para ácido esteárico (18:0). Este ácido graxo com 18 átomos de carbono é muito importante para a síntese de ácidos graxos insaturados. A introdução de uma dupla ligação entre os átomos de carbonos 9 e 10 é catalisada pela enzima $\Delta-9$ dessaturase. Esta enzima está presente em plantas e animais, e converte o ácido esteárico para o ácido oleico. Nas plantas, a enzima $\Delta-12$ dessaturase converte o ácido oleico em ácido linoleico e a $\Delta-15$ dessaturase converte o ácido linoleico em ácido α -linolênico (TEITELBAUM e WALKER, 2001; MOREIRA et al., 2002). Nas plantas, a extensão dos ácidos palmíticos e esteárico presentes em ácidos graxos de cadeia longa e ultralonga é usada, principalmente, para a produção de componentes de cera alifática (VELÍŠEK e CEJPEK, 2006).

Em estudo sobre a viabilidade do óleo de sementes de *J. curcas* de genótipos cultivados na Nigéria, verificou-se que o teor de ácidos graxos foi superior aos observados em óleos das espécies vegetais comestíveis analisadas (UMARU e ABERUAGBA, 2012). Em outro estudo realizado na Nigéria, foi observado que os ácidos graxos presentes no óleo das sementes são compostos basicamente por ácido palmítico (13%), ácido esteárico (2,5%), ácido oleico (48,8%) e ácido linoleico (34,6%) (MARTÍNEZ-HERRERA et al., 2006).

A qualidade do óleo das sementes afeta o processo de transesterificação e as propriedades de combustível do biodiesel (ISLAM et al., 2012). O óleo transesterificado de *J. curcas* alcança melhores resultados do que o uso do óleo puro de *J. curcas* (puro ou em mistura) em motores não ajustados ao diesel. Porém, a durabilidade em longo prazo dos motores que utilizam biodiesel de *J. curcas* como combustível requer estudos adicionais (ACHTEN et al., 2008).

O alto poder de separação alcançável (número potencial de placas teóricas), combinado com uma ampla gama de detectores, torna a cromatografia em fase gasosa (CG) uma ferramenta importante, muitas vezes insubstituível, na análise de elementos traço de componentes presente em vegetais (HAJŠLOVÁ e ÝAJKA, 2007).

Quando duas técnicas, como a cromatografia em fase gasosa (CG) e a espectrometria de massa (EM) são combinadas com sucesso para formar o sistema denominado cromatografia gasosa acoplada ao espectro de massas (CG-EM), as vantagens se tornam evidentes. O CG pode separar muitos compostos voláteis e semivoláteis, mas nem sempre os detecta seletivamente, enquanto a EM pode detectar seletivamente muitos compostos, mas nem sempre os separa. Desta forma, em um sistema CG/EM, as amostras do cromatógrafo a gás são bombardeadas por elétrons e são quebradas, gerando íons positivos, negativos e radicais onde, a partir da relação massa/carga dos íons gerados, irá separá-los. Atualmente, para o CG-MS capilar, a coluna capilar é inserida diretamente na fonte de íons (SNEDDON et al., 2007).

Os dados obtidos em CG-EM são enviados para um computador para serem analisados. O computador ligado ao CG-EM possui uma biblioteca de amostras para ajudar na análise desses dados (AGILENT TECHNOLOGIES, 2012). Os dados para o CG-EM são exibidos de diferentes formas. Uma é um cromatograma de íons totais, que resume a abundância total de íons em cada espectro e os traça em função do tempo. A outra é o espectro de massa em um momento específico no cromatograma para identificar o componente particular que foi eluído naquele momento. Também podem ser usados os espectros de massa de íons selecionados em uma relação massa/carga específica, chamado cromatograma em massa (HUSSAIN e MAQBOOL, 2014).

A cromatografia gasosa é uma das principais técnicas utilizadas para a identificação e quantificação de muitos grupos de substâncias não polares e/ou semipolares (ou seus produtos de derivação). A análise do perfil de ácidos graxos do óleo de sementes de *J. curcas* é

frequentemente realizada com o auxílio da técnica conhecida como cromatografia gasosa acoplada ao espectro de massas (CG/EM) ou equipado com detector de ionização em chama (Tabela 2.3).

TABELA 2.3. Diferentes solventes e métodos de extração para obtenção de ácidos graxos em óleo de sementes de *Jatropha curcas* L.

Método de Extração	Solvente usado na extração do óleo	Método de separação dos ácidos graxos	Principais ácidos graxos encontrados	Autor
Soxhlet	Éter de Petróleo	Cromatografia gasosa	Palmítico, Esteárico, Oleico e Linoleico	Nayak e Patel (2010)
Soxhlet	Hexano	Cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massa	Palmítico, Esteárico, Oleico, Linoleico, Metilpalmítico, Gadoleico e Ricinoleico	Ovando-Medina et al. (2011)
Soxhlet	Éter de Petróleo	HPLC	Palmítico, Esteárico, Oleico, Linoleico, Palmitoleico, Miriástico e Láurico	Cordova-Albores et al. (2014)
Soxhlet	Hexano	Cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massa	Palmítico, Esteárico, Oleico e Linoleico	Rodríguez-Acosta et al. (2010)
Soxhlet	Dietil-éter	Cromatografia gasosa	Palmítico, Esteárico, Oleico, Linoleico, Palmitoleico, Miriástico, Linolênico, Araquídico e Láurico	Albuquerque et al. (2017)
Soxhlet	Hexano	Cromatografia gasosa	Palmítico, Palmitoleico, Esteárico, Oleico, Cis-Vacênico e Linoleico	Barros et al. (2015)
Soxhlet	Hexano	Cromatografia gasosa e HPLC	Palmítico, Esteárico, Oleico, Linoleico, Mirístico e Laurico	Akbar et al. (2009)
Mecânico e Soxhlet	Hexano	Cromatografia gasosa equipado com detector de ionização em chama	Palmítico, Palmitoleico, Esteárico, Oleico, Cis-Vacênico e Linoleico	Fernandes et al. (2015)
Soxhlet	Éter de petróleo	Cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massa	Oleico, Linoleico, Esteárico, Palmítico e Ariquídico	Albasha et al. (2015)
Soxhlet	Hexano	Cromatografia gasosa	Palmítico, Esteárico, Oleico, Linoleico e Mirístico	Azhari et al. (2008)

Fonte: Próprio autor.

Com a técnica de cromatografia gasosa com detecção por ionização em chama (CG-DIC) que também é utilizada para análise do perfil de ácidos graxos do albúmen e sementes de *Jatropha gossypifolia* L., obteve-se alto conteúdo de ácidos graxos no albúmen, porém, com baixo teor de ácido oleico (7,40%) nas sementes (REIS et al., 2013), inferior ao teor (48,0%) obtido em sementes de *J. curcas* oriundas de Nova Deli, Índia (HAYAT e MENDHULKAR, 2016).

Os principais ésteres metílicos da composição de ácidos graxos do óleo das sementes de acessos de *J. curcas* provenientes da China, analisados por CG-EM, foram os ácidos graxos insaturados (71,93%) e os ácidos graxos saturados (27,59%). Para os ácidos palmítico e esteárico observou-se uma taxa de 15,80% e 10,79%. Os ácidos linoleicos (39,58%) e oleico (30,41%) foram obtidos em maior concentração dentre os ácidos graxos insaturados identificados no óleo (SENOU et al., 2016).

Estes resultados são semelhantes aos observados em trabalho realizado na China com o uso da técnica de CG-EM, onde observou-se a presença de 13,23% de ácido palmítico, 5,40% de ácido esteárico, 41,62% de ácido oleico e 36,99% de ácido linoleico na composição do óleo de sementes de *J. curcas* (WANG et al., 2011).

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDULHAMID, A.; FAKAI, I. M.; SANI, I.; WARRA, A.A.; BELLO, F.; NUHU, B.G. Extraction, physicochemical characterization and phytochemical screening of *Jatropha curcas* L. seed oil. **Journal of Natural Product Plant Resource**, v. 3, n. 5, p. 26-30, 2013.

ACDA, M.N. Toxicity, tunneling and feeding behavior of the termite, *Coptotermes vastator*, in sand treated with oil of the physic nut, *Jatropha curcas*. **Journal of Insect Science**, v. 9, n. 34, 2009.

ACHTEN, 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, n. 1, p. 91-107, 2010.

ACHTEN, W.M.J.; VERCHOT, Y.J.; FRANKEN, E.; MATHIJS, V.P.; SINGH, V.P.; AERTS, R.; MUYS, B. *Jatropha* bio-diesel production and use. **Biomass & Bioenergy**, v. 32, p.10163-1084, 2008.

AGILENT TECHNOLOGIES. 5975, Series **MSD Operation Manual**, 4th Edition, 2012.

AHMAD, N.S.; GHANI, M.N.A.; ALI, A.M.; JOHARI, S.A.T.T.; HARUN, M.H. High performance liquid chromatography (HPLC) profiling analysis and bioactivity of *Baeckea frutescens* L. (Myrtaceae). **Journal of Plant Studies**, v. 1, n. 2, 2012.

ALBASHA, R.D.M.; ELNOUR, M.E.M.; ABADI, R.S.M.; SIDDIG, M.A.E. Comparative studies on physicochemical properties and fatty acids composition of seed oil of *Jatropha curcas* and *Jatropha glauca*. **International Journal of Technical Research and Applications**, v. 3, n. 4, p. 407-412, 2015.

ALBRECHT, L.P.; BRACCINI, A.L.; ÁVILA, M.R.; SUZUKI, L.S.; SCAPIM, C.A.; BARBOSA, M.C. Teores de óleo, proteínas e produtividade de soja em função da antecipação da semeadura na região oeste do Paraná. **Bragantia**, v. 67, n. 4, p. 865-873, 2008.

ALONSO, E.C.; SANTOS, D.Y.A.C. *Ricinus communis* and *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae) seed oil toxicity against *Atta sexdens rubropilosa* (Hymenoptera: Formicidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 106, n. 2, p. 742-746, 2013.

ALVES, A.A.; LAVIOLA, B.G.; FORMIGHIERI, E.F.; CARELS, N. Perennial plants for biofuel production: bridging genomics and field research. **Biotechnology Journal**, v. 10, p. 505-507, 2015.

ANGELONI, P.; ECHARTE, M.M.; IRUJO, G.P.; IZQUIERDO, N.; AGUIRREZÁBAL, L. Fatty acid composition of high oleic sunflower hybrids in a changing environment. **Field Crops Research**, v. 202, p. 146-157, 2017.

AREKEMASE, M.O.; KAYODE, R.M.O.; AJIBOYE, A.E. Antimicrobial activity and phytochemical analysis of *Jatropha curcas* plant against some selected microorganisms. **International Journal of Biology**, v. 3, n. 3, p. 52-59, 2011.

ARRUDA, F.P.; BELTRÃO, N.E. de M.; de ANDRADE, A.P.; PEREIRA, W.E.; SEVERINO, L.S. Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) como alternativa para o

semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 8, n. 1, p. 789-799, 2004.

ASÍNS, M.J. Present and future of quantitative trait locus analysis in plant breeding. **Plant Breeding**, v. 121, p. 281-291, 2002.

AYIZANNON, R.; AHOTON, L.E.; EZIN, V.; QUENUM, F.; MERGEAI, G. Improvement of physic nut (*Jatropha curcas* L.) by intraspecific hybridization between ecotypes of Africa and Americana. **Journal of Plant Breeding and Crop Science**, v. 9, n. 5, p. 54-62, 2017.

AYELAAGBE, O. O.; ADENIYI, B. A.; FATUNSIN, O. F.; ARIMAH, B. D. In vitro antimicrobial activity and phytochemical analysis of *Jatropha curcas* roots. **International Journal of Pharmacology**, v. 3, n. 1, p. 106-110, 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.

BASILI, M.; FONTINI, F. Biofuel from *Jatropha curcas*: Environmental sustainability and option value. **Ecological Economics**, v. 78, p. 1-8, 2012.

BASSEN, F.; LARBI, K.M.; HELA, E.F. O. Larvicidal efficacy of *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae) leaf and seed aqueous extracts against *Culex pipens* L. **African Journal of Biotechnology**, v. 13, n. 26, p. 2641-2647, 2014.

BECHE, E.; SILVA, C.L.; PAGLIOSA, E.S.; FRANKE, M.A.J.; MATEI, G.; BENIN, G. Hybrid performance and heterosis in early segregant populations of Brazilian spring wheat. **Australian Journal of Crop Science**, v. 7, n.1, p. 51-57, 2013.

BERED, F.; BÁRBOSA NETO, J.F.; de CARVALHO, F.I.F. Marcadores moleculares e sua aplicação no melhoramento genético de plantas. **Ciência Rural**, v. 27, n. 3. p. 513-520, 1997.

BERCHMANS, H.J.; HIRATA, S. Biodiesel production from crude *Jatropha curcas* L. seed oil with a high content of free fatty acids. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 1716-1721, 2008.

BIABANI, A.; RAFII, M.Y.; SALEH, G.; SHABANIMOFRAD, M.; LATIF, M.A. Combining ability analysis and evaluation of heterosis in *Jatropha curcas* L. F1-Hybrids. **Australian Journal of Crop Science**, v. 6, n. 6, p. 1030-1036, 2012.

BOONVITTHYA, N.; PIAPUKIEW, J.; GLINWONG, C.; CHULALAKSANANUKU, W. Genetic analysis for physic nut *Jatropha curcas* L. populations of Thailand using ISSR markers. **International Conference on Renewable Energy Research and Applications**, Madri, Spain, 20-23 october, 2013.

BOORA, I.K.S.; DHILLON, R.S. Evaluation of genetic diversity in *Jatropha curcas* L. using RAPD markers. **Indian Journal Biotechnology**, v. 9, p. 50-57, 2010.

BORÉM, A.; GUIMARÃES, E.P.; FEDERIZZI, L.C.; TOLEDO, J.F.F. From Mendel to genomics, plant breeding milestones: a review. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 2, n. 4, p. 649-658, 2002.

BORÉM, A.; MIRANDA, G.V. Herdabilidade. *In: Melhoria de Plantas*. 6 ed. rev. e ampl. Viçosa: UFV, p. 98-130, 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: Mapa/ACS, 2009, 399 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa N° 14 de Janeiro de 2008. Registro Nacional de Cultivares – Brasília: Mapa/RNC, 2008.

BRESSAN, E.A. **Variabilidade genética e estimativa da taxa de cruzamento do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) empregando marcadores moleculares**. 2011. 208 f. Tese (Doutorado em Ciências. Área de concentração: Biologia na Agricultura e no Ambiente) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 2011.

CAI, Y.; SUN, D.; W. G.; PENG, J. ISSR-based genetic diversity of *Jatropha curcas* germplasm in China. **Biomass & Bioenergy**, v. 34, p. 1739-1750, 2010.

CAMELLIA, N.N.A.; LEE, T.A.; ABDULLAH, N.A.P. Genetic relationships and diversity of *Jatropha curcas* accessions in Malaysia. **African Journal of Biotechnology**, v. 11, n. 13, p. 3048-3054, 2012.

CANTRELL, C.L.; ALI, A.; DUKE, S.O.; KHAN, I. Identification of Mosquito Biting Deterrent Constituents from the Indian Folk Remedy Plant *Jatropha curcas*. **Journal of Medical Entomology**, v. 48, n. 4, p. 836-845, 2011.

CARVALHO, C.R.; CLARINDO, W.R.; PRAÇA, M.M.; ARAÚJO, F.S.; CARELS, N. Genome size, base composition and karyotype of *Jatropha curcas* L., an important biofuel plant. **Plant Science**, v. 174, p. 613-617, 2008.

CÉSAR, A.S.; WERDERITS, D.E.; SARAIVA, G.L.O.; GUABIROBA, R.C.S. The potential of waste cooking oil as supply for the Brazilian biodiesel chain. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 72, p. 246-253, 2017.

CHEN, M. S.; WANG, G. J.; WANG, R. L.; WANG, J.; SONG, S. Q.; XU, Z. F. Analysis of expressed sequence tags from biodiesel plant *Jatropha curcas* embryos at different developmental stages. **Plant Science**, v. 181, p. 696-700, 2011.

CHANDRA. P. H.; GOYAL, S.; SOLOMON, R.A.J. Extraction and Chemical Conversion of *Jatropha* seed oil into Biodiesel. **International Journal of Chemical, Environmental & Biological Sciences**, v. 1, n. 2, p. 2320-4087, 2013.

CHRISTO, L.F.; COLODETTI, T.V.; RODRIGUES, W.N.; MARTINS, L.D.; BRINATE, S. B.; do AMARAL, J.F.T.; LAVIOLA, B.G.; TOMAZ, M.A. Genetic variability among genotypes of physic nut regarding seed biometry. **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, p. 1416-1422, 2014.

CORDOVA-ALBORES, L. C.; RIOS, M. Y.; BARRERA-NECHAA, L. L.; BAUTISTA-BANOS, S. Chemical compounds of a native *Jatropha curcas* seed oil from Mexico and their antifungal effect on *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli*. **Industrial Crops and Products**, v. 62, p. 166-172, 2014.

CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, v. 2, 2006. 585 p.

CRUZ, C.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2 ed. Viçosa: Ed. da UFV, 1994, 390p.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Editora Viçosa, Viçosa. 480p. 2004.

DAHMER, N.; WITTMANN, M.T.S.; DIAS, L.A.S. Chromosome numbers of *Jatropha curcas* L.: an important agrofuel plant. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 9, p. 386-389, 2009

DAS, S.; MISRA, R.C.; MAHAPATRA, A.K.; GANTAYAT, B.P.; PATTNAIK, R.K. Genetic variability, character association and path analysis in *Jatropha curcas*. **World Applied Sciences Journal**, v. 8, n. 11, p. 1304-1308, 2010.

DEBNATH, M.; BISEN, P. S. *Jatropha curcas* L., a multipurpose stress resistant plant with a potential for ethnomedicine and renewable energy. **Current Pharmaceutical Biotechnology**, v. 9, n. 4, p. 288-306, 2008.

de CASTRO, M.D.L.; PRIEGO-CAPOTE, F. Soxhlet extraction: past and present panacea. **Journal of Chromatography A**, v. 1217, p. 2383-2389, 2010.

de SOUZA, T.V. **Aspectos estatísticos da análise de trilha (path analysis) aplicadas em experimentos agrícolas**. 2013. 83 f. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) - Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2013.

DEVAPPA, R. K.; MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. Nutricional, biochemical, and pharmaceutical potential of proteins and peptides from *Jatropha*: review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 11, p. 6543-6555, 2010.

DIAS, L.A.S. Biofuel plant species and the contribution of genetic improvement. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 1, p. 16-26, 2011.

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

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

DIAS, M.A.N.; MONDO, V.H.V.; CICERO, S.M. Recent approaches for bell pepper seed vigor testing. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 36, n. 4, p. 483-487, 2014.

DÍAZ, B.G.; ARGOLLO, D.M.; FRANCO, M.C.; NUCCI, S.M.; SIQUEIRA, W.J.; LAAT, D.M.; COLOMBO, C.A. High genetic diversity of *Jatropha curcas* assessed by ISSR. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 2, p. 1-12, 2017.

- DIVAKARA, B.N.; UPADHYAYA, H.D.; WANI, S.P.; LAXMIPATHI GOWDA, C.L. Biology and genetic improvement of *Jatropha curcas* L.: a review. **Applied Energy**, 1-11, 2009.
- DOSHI, G.M.; UNE, H.D. High performance thin layer chromatography and high performance liquid chromatography determination of quercetin from *Polyalthia longifolia* leaves. **Free Radicals and Antioxidants**, v. 5, n. 2, 2015.
- DRUMOND, M.A.; SANTOS, C.A.F.; de OLIVEIRA, V.R.; MARTINS, J.C.; dos ANJOS, J. B.; EVANGELHISTA, M.R.V. Desempenho agrônômico de genótipos de pinhão-manso no semiárido pernambucano. **Ciência Rural**, v. 40, n. 1, p. 44-47, 2009.
- EBUEHI, O.A.; OKORIE, N.A. Phytochemical screening and quantification of flavonoids from leaf extract of *Jatropha curcas* Linn. **Nigerian Quartely Journal of Hospital Medicine**, v. 19, n. 4, p. 200-205, 2009.
- EDRISI, S.A.; DUBEY, R. K.; TRIPATHI, V.; BAKSHI, M.; SRIVASTAVA, P.; JAMIL. S.; SINGH, H. B.; SINGH, N.; ABHILASH, P. C. *Jatropha curcas* L.: A crucified plant waiting for resurgence. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 41, p. 855-862, 2015.
- FEITOSA, C. M.; FREITAS, R. M.; LUZ, N. N. N.; BEZERRA, M. Z. B.; TREVISAN, M. T. S. Acetylcholinesterase inhibition by some promising brazilian medicinal plants. **Brazilian Journal of Biology**, v. 71, n. 3, p. 783-789, 2011.
- FRANÇA NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; COSTA, N. P. O teste de tetrazólio em sementes de soja. Londrina: EMBRAPA-CNPQ, 1998. 72 p.
- FREITAS, R.G.; MISSIO, F.S.; RESENDE, M.D.V.; DIAS, L.A.S. Genetic evaluation of *Jatropha curcas*: an important oilseed for biodiesel production. **Genetics and Molecular Research**, 10 (3): 1490-1498, 2011.
- FU, D.; X, M.; HAYWARD, A.; FU, Y.; LIU, G.; JIANG, G.; ZHANG, H. Utilization of crop heterosis: a review. **Euphytica**, v. 197, p. 161-173, 2014.
- GALAPIA, G.A.; CARANDANG, W.M.; VALLESTEROS, S.F.; VALLESTEROS, A.P. Heritability of and relationship among selected seed traits of three provenances of *Jatropha curcas* L. **Forest Science and Technology**, v. 8, n. 3, p. 139-144, 2012.
- GILL, S. S.; GILL, R.; TUTEJA, N.; TUTEJA, N. Genetic engineering of crops a ray of hope for enhanced food security. **Plant Signaling & Behavior**, v. 9, p. 1-3, 2014.
- GOHIL, R.H.; PANDYA, J.B. Genetic diversity assessment in physic nut (*Jatropha curcas* L.). **International Journal of Plant Production**, v. 2, p. 321-326, 2008.
- GOLLE, D.P.; REINIGER, L.R.S.; CURTI, A.R.; BEVILACQUA, C.B. Melhoramento florestal: ênfase na aplicação da biotecnologia. **Ciência Rural**, v. 39, n. 5, p. 1606-1613, 2009.
- GOMES K.; ALMEIDA, T.; GESTEIRA, A.; LOBO, I.; GUIMARAES, A.; MIRANDA, A.B.; SLUYS, M.A.V.; CRUZ, R.S.; CASCARDO, J.; CARELS, N. ESTs from seeds to assist the selective breeding of *Jatropha curcas* L. for oil and active compounds. **Genomics Insights**, v. 3, p. 29-56, 2010.

- GOPALE, K.D.; ZUNJARRAO, R.S. Evaluation of genetic diversity of *Jatropha curcas* L. using RAPD marker in Maharashtra. **International Journal of Pure and Applied Sciences and Technology**, v. 14, n. 2, p. 12-24, 2013.
- GOVINDARAJ, M.; VETRIVENTHAN, M.; SRINIVASAN, M. Importance of genetic diversity assessment in crop plants and its recent advances: an overview of its analytical perspectives. **Genetics Research International**, p. 1-14, 2015.
- GOWDA, M.; KLING, C.; WÜRSCHUM, T.; LIU, W.; MAURER, H.P.; HAHN, V.; REIF, J.C. Hybrid breeding in durum wheat: heterosis and combining ability. **Crop Science**, v. 50, p. 2224-2230, 2010.
- GRATIVOL, C.; LIRA-MEDEIROS, C.F.; HEMERLY, A.S.; FERREIRA, P.C.G. High efficiency and reliability of inter-simple sequence repeats (ISSR) markers for evaluation of genetic diversity in brazilian cultivated *Jatropha curcas* L. accessions. **Molecular Biology Reports**, v. 38, p. 4245-4256, 2011.
- GUAN, J.; YU, H.; ZHANG, J.; YANG, R.; FAN, Y. H. Study on the seed morphology and genetic diversity of *Jatropha curcas* L. from different provenances. **Advance Journal of Food Science and Technology**, v. 5, n. 2, p. 169-173, 2013.
- GUBITZ, G.M.; MITTELBAACH, M.; TRABI, M. Exploitation of the tropical oil seed plant *Jatropha curcas* L. **Bioresource Technology**, v. 67, p. 73-82, 1999.
- HADINI, H.; NASRULLAH; TARYONO; BASUNANDA, P. Estimates of genetic variance component of an equilibrium population of corn. **Agrivita**, v. 37, n. 1, p. 45-50, 2015.
- HAJŠLOVÁ, J.; ÝAJKA, T. Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). In: PICÓ, Y. **Food Toxicants Analysis**. Elsevier, p. 419-473, 2007.
- HAYAT, H.; MENDHULKAR, V.D. A simplified approach to transesterification for GC-MS analysis in *Jatropha curcas*. **Der Pharmacia Lettre**, v. 8, n. 10, p. 233-237, 2016.
- HELLER, J. Physic Nut (*Jatropha curcas* L.). Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. **International Board for Plant Genetic Resources**, Roma, 161, 1996.
- HIROTA, B.C.K.; TREVISAN, R.R.; DIAS, J. F. G.; MIGUEL, M.D.; MIGUEL, O.G. Fitoquímica e atividades biológicas do gênero *Jatropha*: mini-revisão. **Visão Acadêmica**, v. 11, n. 2, 2010.
- HUANG, F.L.; ZHU G.L.; CHEN, Y.S.; MENG, F.J; PENG, M.; CHEN, X.F.; HE, Z.B.; ZHANG, Z.Y.; CHEN, Y.J. Seed characteristics and fatty acid composition of castor (*Ricinus communis* L.) varieties in Northeast China. **International Journal of Experimental Botany**, v. 84, p. 26-33, 2015.
- HUSSAIN, S.Z.; MAQBOOL, K. GC-MS: Principle, technique and its application in food science. **International Journal of Current Science**, v. 13, p. 116-126, 2014.
- IDREESS, M.; IRSHAD, M. Molecular markers in plants for analysis of genetic diversity: a review. **European Academic Research Journal**, v. 2, n. 1, p. 1514-15140, 2014.

ISLAM, A.A.K.M.; ANUAR, N.; YAAKOB, Z.; OSMAN, M. Heterosis for seed yield and its components in *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.). **International Journal of Plant Breeding**, v. 5, n. 2, p. 74-79, 2011.

ISLAM, A.K.M.A.; YAAKOB, Z.; ANUAR, N.; PRIMANDARI, S.R.P.; OSMAN, M. Physiochemical Properties of *Jatropha curcas* seed oil from different origins and candidate plus plants (CPPs). **Journal of American Oil Chemists' Society**, v. 29, p. 293-300, 2012.

JIAO, Z.; SI, X.X.; ZHANG, Z.M.; LI, G.K.; CAI, Z.W. Compositional study of different soybean (*Glycine max* L.) varieties by ¹H NMR spectroscopy, chromatographic and spectrometric techniques. **Food Chemistry**, v. 135, p. 285-291, 2012.

JIMÉNEZ, R.J.; MARTÍNEZ, M. Redescrición de *Jatropha andrieuxii* Muell. Arg. (Euphorbiaceae), una especie endémica del Sur de México. **Acta Botánica Mexicana**, v. 26, p. 27-32, 1994.

JOLLY, J.; SHETYE, S. Screening of antioxidant compounds from *Ricinus communis* leaves for oxidative stress treatment in jaundice condition. **International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research**, v. 9, n. 3, p. 387-394, 2017.

JUHÁSZ, A.C.P.; RESENDE, M.D.V.; LAVIOLA, B.G.; COSTA, M.R. Melhoramento genético de *Jatropha curcas* L. – Considerações e metodologias. In: NEVES, W. dos SANTOS; LONDE, L. N.; de RESENDE, J. C. F. **Pinhão-manso**. EPAMIG: Nova Porteirinha, p. 89-151, 2013.

KAMAL, S.; MANMOHAM, S.; BIRENDRA, S. A review on chemical and medicobiological applications of *Jatropha curcas*. **International Research Journal of Pharmacy**, v. 2, n. 4, p. 61-66, 2011.

KASSAHUN, B.M.; BALCHA, M.; DAMTEW, Z.; BISRAT, D.; ASAMINEW, G.; TADESE, S.; PHILIPPOS M.; GUTETA, N.; NURHUSAIN, H.; HAILE, F.; ABATE, S.; MEKONNEN, B. Fatty acid and biodiesel characteristics Ethiopian *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) provenances. **International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research**, v. 4, n. 1, p. 15-31, 2016.

KAZADI, M.; BOKOTA, M.T.; MPIANA, P.T. Potential new sources of oleic acids from wild plants from Kivu, D.R. Congo. **Journal of Physical and Chemical Sciences**, v.1, n. 2, p. 1-4, 2014.

KAZEMBE T.C.; CHAIBVA M. Mosquito repellency of whole extracts and volatile oils of *Ocimum americanum*, *Jatropha curcas* and *Citrus limon*. **Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences**, v. 1, n. 8, p. 65-71, 2012.

KESAWAT, M.S.; DAS, B.K. Molecular markers: its application in crop improvement. **Journal Crop Science Biotechnology**, v. 12, n. 4, p. 168-178, 2009.

KHAN, N.U.; MARWAT, K.B.; HASSAN, G.; FARHATULLAH; BATOOL, S.; MAKHDOOM, K.; AHMAD, W.; KHAN, H.U. Genetic variation and heritability for cotton seed, fiber and oil traits in *Gossypium hirsutum* L. **Pakistan Journal of Botany**, v. 42, n. 1, p. 615-625, 2010.

KHURANA-KAUL, V.; KACHHWAHA, S.; KOTHARI, S.L. Direct shoot regeneration from leaf explants of *Jatropha curcas* in response to thidiazuron and high copper contents in the medium. **Biologia Plantarum**, v. 54, p.362-379, 2010.

KNOTHE, G. Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters. **Fuel Processing Technology**, v. 86, p. 1059-1070, 2005.

KOBORI, N.N.; CICERO, S.M.; MEDINA, P.F. Teste de raios-X na avaliação da qualidade de sementes de mamona. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 1, p. 125 - 133, 2012.

KONUŞKAN, D.B.; YILMAZTEKİN, M.; MERT, M; GENÇER, O. Physico-chemical characteristic and fatty acids compositions of cottonseed oils. **Journal of Agricultural Sciences**, v. 23, p. 253-259, 2017.

KUMAR, S.; KUMAR, V.; SHARMA, M.K.; KUMAR, N.; KUMAR, A.; SENGAR, R.S.; JAISWA, N. Assessment of genetic diversity in *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) by using RAPD Markers. **International Journal of Biotechnology and Bioengineering Research**, v. 4, n. 4, p. 383-394, 2013.

KUMAR, S.; KUMARIA, S.; SHARMA, S.K.; RAO, S.R.; TANDON, P. Genetic diversity assessment of *Jatropha curcas* L. germplasm from Northeast India. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, p. 3063-3070, 2011.

KUMAR SP, J.; PRASAD S, R.; KUMAR, M.; SINGH, C.; SINHA, A.K., PATHAK, A. Seed quality markers: a review. **Research & Review: Journal of Botanical Sciences**, p. 13-17, 2016.

KUMAR, A.; TEWARI, S.K. Origin, distribution, ethnobotany and pharmacology of *Jatropha curcas*. **Research Journal of Medicinal Plant**, v. 9, n. 2, p. 48-59, 2015.

KHURANA-KAUL, V.; KACHHWAHA, S.; KOTHARI, S.L. Characterization of genetic diversity in *Jatropha curcas* L. germplasm using RAPD and ISSR markers. **Indian Journal of Biotechnology**, v. 11, p. 54-61, 2012.

LAMASRI, C.; PUNSUVON, V.; CHANPRAME, S.; ARUNYANARK, A.; SRINIVES, P.; LIANGSAKUL, P. Relationship between fatty acid composition and biodiesel quality for nine commercial palm oils. **Songklanakarinn Journal of Science and Technology**, v. 37, n. 4, p. 389-395, 2015.

LAVIOLA, B.G.; RODRIGUESA, E.V.; TEODORO, P.E.; PEIXOTO, L.A.; BHERING, L.L. Biometric and biotechnology strategies in *Jatropha* genetic breeding for biodiesel production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 76, p. 894-904, 2017.

LEE, J.D.; BILYEU, K.D.; SHANNON, J.G. Genetics and breeding for modified fatty acid profile in soybean seed oil. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v. 10, p. 201-210, 2007.

MAFTUCHAH; ZAINUDIN, A.; SUDARMO, H. Production of physic nut hybrid progenies and their parental in various dry land. **Agricultural Sciences**, v. 4, n. 1, p. 48-56, 2013.

MAGHULY, F.; JANKOWICZ-CIESLAK, J.; CALARI, A.; RAMKAT, R.; TILL, B.; LAIMER, M. Investigation of genetic variation in *Jatropha curcas* by Ecotilling and ISSR. **BMC Proceedings**, v. 5, n. 7, 2011.

MAGHULY, F.; JANKOWICZ-CIESLAK, J.; PABINGER, S.; TILL, B. J.; LAIMER, M. Geographic origin is not supported by the genetic variability found in a large living collection of *Jatropha curcas* with accessions from three continents. **Biotechnology Journal**, v. 10, p. 536-551, 2015.

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.

MAHMUD, M.I.; CHO, H.M. A review on characteristics, advantages and limitations of palm oil. **International Journal of Global Warming**, v. 14, n. 1, p. 81, 2018.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005, 495.

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.

MARTINS, M.; MONTES, J.M. Quantitative genetic parameters of agronomic and quality traits in a global germplasm collection reveal excellent breeding perspectives for *Jatropha curcas* L. **Global Change Biology Bioenergy**, v. 7, p. 1335-1343, 2015.

MAURYA, R.; KUMAR, U.; KATIYAR, R.; KUMAR YADAV, H. Correlation and path coefficient analysis in *Jatropha curcas* L. **Genetika**, v. 47, n. 1, p. 63-70, 2015.

MILOŠEVIĆ, M.; VUJAKOVIĆ, M.; KARAGIĆ, D. Vigour tests as indicators of seed viability. **Genetika**, v. 42, n. 1, p. 103-118, 2010.

MOREIRA, N.X.; CURI, R.; MANCINI FILHO, J. Ácidos graxos: uma revisão. **Nutrire: revista da Sociedade Brasileira de Alimentação e Nutrição**, v. 24, p. 105-123, 2002.

NA-EK, Y.; WONGKAEW, A.; PHUMICHAJ, T.; KONGSIRI, N.; KAVEETA, R.; REEWONGCHAI, T.; PHUMICHAJ, C. Genetic diversity of physic nut (*Jatropha curcas* L.) revealed by SSR markers. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v. 14, n. 2, p. 105-110, 2011.

NAMULI, A.; ABDULLAH, N.; SIEO, C.C.; ZUHAINIS, S.W.; OSKOUÉIAN, E. Phytochemical compounds and antibacterial activity of *Jatropha curcas* Linn. Extracts. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 5, n. 16, p. 3982-3990, 2011

NAYAK, B.S.; PATEL, K.N. Physicochemical characterization of seed and seed oil of *Jatropha curcas* L. collected from Bardoli (South Gujarat). **Sains Malaysiana**, v. 39, n. 6, p. 951-955, 2010.

NONOGAKI, H.; BASSEL, G.W.; BEWLEY, J.D. Germination still a mystery. **Plant Science**, v. 179, n. 1, p. 574-581, 2010.

NUNES, C.F.; PASQUAL, M.; SANTOS, D.N. dos; CUSTÓDIO, T.N.; ARAÚJO, A.G. de. Diferentes suplementos no cultivo in vitro de embriões de pinhão manso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 9-14, 2008.

NUNES, C.F.; dos SANTOS, D.N.; PASQUAL, M.; VALENTE, T.C.T. Morfologia externa de frutos, sementes e plântulas de pinhão-manso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 2, p. 207-210, 2009.

OBAFEMI, T.O.; ONASANYA, A.; AFOLABI, B.A.; FALODE, J.A.; ADEOYE, A.O.; AFOLABI, O.B.; A.W.E, J.O.; FADAKA, A.O.; OCHUKO, O.; JACDONMI, T.; BOLIGON, A.A.; ATHAYDE, M.L. High performance liquid chromatography (HPLC) fingerprinting and in vitro antioxidant activity of methanol leaf extract of *Napoleona vogelii* (Lecythidaceae). **PharmacologyOnline**, v. 1, p. 109-119, 2016.

OHIMAIN, E.I.; ANGAYE, T.C.N.; BASSEY, S.E. Comparative larvicidal activities of the leaves, bark, stem and root of *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae) against malaria vector *Anopheles gambiae*. **Sky Journal of Biochemistry Research**, v. 3, n. 3, p. 29-32, 2014.

OJHA, K.; PATTABHIRAMAIAH, M. Evaluation of phytochemicals, larvicidal activity of *Jatropha curcas* seed oil against *Aedes aegypti*. **International Journal of Applied Research and Studies**, v. 2, n. 12, p. 1-12, 2013.

OLIVEIRA, A.S.; CARVALHO, ML.M.; BÁRBARA, C.N.V.; GUIMARÃES, R.M.; OLIVEIRA, J.A.; PEREIRA, D.S. Biochemical changes in fiber naturally colored cottonseeds during storage. **Journal of Seed Science**, v. 38, n. 2, p. 101-109, 2016.

ORSAVOVA, J.; MISURCOVA, L.; AMBROZOVA, J.V.; VICHA, R.; MLCEK, J. Fatty acids composition of vegetable oils and its contribution to dietary energy intake and dependence of cardiovascular mortality on dietary intake of fatty acids. **International Journal of Molecular Science**. v. 16, p. 12871-12890, 2015.

OSKOUÉIAN, E.; ABDULLAH, N.; AHMAD, S.; SAAD, W.Z.; OMAR, A.R.; HO, Y.W. Bioactive compounds and biological activities of *Jatropha curcas* L. kernel meal extract. **International Journal of Molecular Science**, p. 5955-5970, 2011.

OVANDO-MEDINA, I.; ESPINOSA-GARCÍA F.J.; NÚÑEZ-FARFÁN, J.S.; SALVADOR-FIGUEROA, M. State of the art of genetic diversity research in *Jatropha curcas*. **Scientific Research and Essays**, v. 6, n. 8, p. 1709-1719, 2011.

PAIVA NETO, V.B.; BRENHA, J.A.M.; FREITAS, F.B.; ZUFFO, M.C.R; ALVAREZ, R.C.F. Aspectos da biologia reprodutiva de *Jatropha curcas* L. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 3, p. 558-563, 2010.

PANDEY, V.C.; SINGH, K.; SINGH, J.S.; KUMAR, A.; SINGH, B.; SINGH, R. P. *Jatropha curcas*: A potential biofuel plant for sustainable environmental development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, p. 2870-2883, 2012.

PAPALIA, T.; BARRECA, D.; PANUCCIO, M.R. Assessment of antioxidant and cytoprotective potential of *Jatropha* (*Jatropha curcas*) grown in southern Italy. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 18, n. 660, p. 1-15, 2017.

- PARAWIRA, W. Biodiesel production from *Jatropha curcas*: a review. **Scientific Research and Essays**, v. 5, n. 14, p. 1796-1808, 2010.
- PATERNIANI, M.E.A.G.Z. Use of heterosis in maize breeding: history, methods and perspectives - a review. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 1, n. 2, p. 159-178, 2001.
- PEIRETTIA, P.G.; MEINERI, G.; LONGATO, E.; TASSONE, S. Nutritive value and fatty acid content of soybean plant [*Glycine max* (L.) Merr.] during its growth cycle. **Italian Journal of Animal Science**, v. 17, n. 2, p. 347-352, 2018.
- PESTANA-CALDAS, C.N.; SILVA, S.A.; MACHADO, E.L.; SOUZA, D.R.; CERQUEIRA-PEREIRA, E.C.; SILVA, M.S. Genetic divergence through joint analysis of morphoagronomic and molecular characters in accessions of *Jatropha curcas*. **Genetics and Molecular Research**, v. 15, n. 4, p. 1-11, 2016.
- PINTO, T.L.F.; MARCOS FILHO, J.; FORTI, V.A.; de 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. 195-2001, 2009.
- PIMENTA, A.C.; ZUFFELLATO-RIBAS, K.C.; LAVIOLA, B.G. Morfologia de frutos, sementes e plântulas de *Jatropha curcas*. **Floresta**, v. 44, n. 1, p. 73-80, 2014.
- PRASAD, D. M. R.; IZAM e MD, A.; KHAN, M. R. *Jatropha curcas*: plant of medical benefits. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 6, n. 14, p. 2691-2699, 2012.
- RAFII, M.Y.; AROLU, I.W.; OMAR, M.H.A.; LATIF, M.A. Genetic variation and heritability estimation in *Jatropha curcas* L. population for seed yield and vegetative traits. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 6, n. 11, p. 2178-2183, 2012.
- REGITANO NETO, A.; MIGUEL, A.M.R.O.; MOURAD, A.R.; HENRIQUES, E.A.; ALVES, R.M.V. Environmental effect on sunflower oil quality. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, p. 197-204, 2016.
- RAHMAM, M.; AHMAD, S.H.; MOHAMED, M.T.M.; RAHMAM, M.Z.A. Antimicrobial compounds from leaf extracts of *Jatropha curcas*, *Psidium guajava*, and *Andrographis paniculata*. **The Scientific World Journal**, p. 1-8, 2014.
- RAHMAM, M.; AHMAD, S.H.; MOHAMED, M.T.M.; RAHMAM, M.Z.A. Extraction of *Jatropha curcas* fruits for antifungal activity against anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) of papaya. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 48, p. 9796-9799, 2011.
- RAHMAN, S.; BISWAS, S.K.; BARMAN, N.K.; FERDOUS, T. Plant Extract as selective pesticide for integrated pest management. **Biotechnological Research**, v. 2, n. 1, p. 6-10, 2016.
- RATNADASS, A.; WINK, M. The phorbol ester fraction from *Jatropha curcas* seed oil: potential and limits for crop protection against insect pests. **International Journal of Molecular Science**, v. 13, p. 16157-16171, 2012.
- REDDY, M.P.; SARLA, N.; SIDDIQ, E.A. "Inter simple sequence repeat (ISSR) polymorphism and its application in plant breeding." **Euphytica**, v. 128, p. 9-17, 2002.

- REIS, J.M.; COSTA, W.F.; MINGUZZI, S.; SILVA, R.C.L. Assessment of chemical composition and toxicity of the essential oil of leaves and fruits of *Jatropha gossypifolia* L. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 34, n. 2, p. 185-192, 2013.
- 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-manso (*Jatropha curcas* L.). **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 2, p. 412-420, 2015.
- RESENDE, J.C.F. JESUS, A.M.S.; RESENDE, M.A.V.; MORAIS, D.L.B.; MORAIS, E.B.S.D. Propagação de pinhão-manso e qualidade fisiológica de sementes. In: RESENDE, J.C.F.; LONDE, L.N.; NEVES, W.S. **Pinhão-manso**. Nova Porteirinha: EPAMIG, p. 206-210, 2013.
- RIBEIRO, D. O.; SILVA-MANN, R.; ALVARES-CARVALHO, S. V.; SOUZA, E. M. S.; VASCONCELOS, M. C.; BLANK, A. F. Genetic variability in *Jatropha curcas* L. from diallel crossing. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 2, p. 1-13, 2017.
- RIBOU, S.B.R.; DOUAM, F.; HAMANT, O.; FROHLICHA, M. W.; NEGRUTIU, I. Plant science and agricultural productivity: Why are we hitting the yield ceiling? **Plant Science**, v. 210, p. 159-176, 2013.
- RINCÓN-RABANALES, M.; VARGAS-LÓPEZ, L.I.; ADRIANO-ANAYA, L.; VÁZQUEZ-OVANDO, A.; SALVADOR-FIGUEROA, M.; OVANDO-MEDINA, I. Reproductive biology of the biofuel plant *Jatropha curcas* in its center of origin. **PeerJ**, v. 4, n. 1819, p.1-12, 2016.
- ROCHA, R.B.; LAVIOLA, B.G.; SILVA, S.D.A.; JUHÁZ, A.C.P.; ALBRECHT, J.C.; ROSADO, T.B. Adaptabilidade e estabilidade de progênies de meios-irmãos de pinhão-manso em diferentes regiões do Brasil. **Revista Ceres**, v. 63, n. 2, p. 174-182, 2016.
- ROSADO, T.B.; LAVIOLA, B.G.; FARIA, D.A.; PAPPAS, M.R.; BHERING, L.L.; QUIRINO, B.; GRATTAPAGLIA, D. Molecular markers reveal limited genetic diversity in a large germplasm collection of the biofuel crop *Jatropha curcas* L. in Brazil. **Crop Science**, v. 50, p. 2372-2382, 2010.
- ROSSMANN, H. **Estimativa de parâmetros genéticos e fenotípicos de uma população de soja avaliada em quatro anos**. 2001. 91p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2001.
- RUSTAN, A.C.; DREVON, C.A. Fatty acids: structures and properties. **Encyclopedia of Life Science**, p. 1-7, 2005.
- SAADAoui, E.; MARTÍN, J.J.; BOUAZIZI, R.; ROMDHANE, C.B.; GRIRA, M.; ABDELKABIR, S.; KHOUJA, M.L.; CERVANTES, E. Phenotypic variability and seed yield of *Jatropha curcas* L. introduced to tunisia. **Acta Botanica Mexicana**, v. 110, p. 119-134, 2015.
- SAKER, K. Review and comparison of various properties of *Jatropha* oil biodiesel. **International Journal of Engineering and Technology**, v. 7, n. 6, p. 1965-1971, 2016.

SAKIYAMA, N.S.; RAMOS, H.C.C.; CAIXETA, E.T.; PEREIRA, M.G. Plant breeding with marker-assisted selection in Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 14, p. 54-60, 2014.

SALIM, M.N.; MASYITHA, D.; HARRIS, A.; BALQIS, U.; ISKANDAR, C.D.; HAMBAL, M.; DARMAW. Anti-inflammatory activity of *Jatropha curcas* Linn. latex in cream formulation on CD68 expression in mice skin wound. **Veterinary World**, p. 99-103, 2018

SALIMON, J.; NOOR, D.A.M.; NAZRIZAWATI, A.T.; FIRDAUS, M.Y.M.; NORAISHAH, A. Fatty acid composition and physicochemical properties of malaysian castor bean *Ricinus communis* L. seed oil. **Sains Malaysiana**, v. 39, n. 5, p. 761-764, 2010.

SALVADOR-FIGUEROA, M.; MAGÑA-RAMOS, J.; VÁZQUEZ-OVANDO, J.A.; ADRIANO-ANAYA, M.L.; OVANDO-MEDINA, I. Genetic diversity and structure of *Jatropha curcas* L. in its centre of origin. **Plant Genetic Resources: characterization and utilization**, v. 13, n. 1, p. 9-17, 2015.

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

SANTOS, D.N.; FERREIRA, J.L.; PASQUAL, M.; GENEROSO, A.L.; SETOTAW, T.A.; CANÇADO, G.M.A.; VENDRAME, W.A. Population structure of jatropha and its implication for the breeding program. **Genetics and Molecular Research**, v. 15, n. 1, p. 1-12, 2016.

SENOU, H.; ZHENG, C.X.; SAMAKE, G.; TRAORE, M.B.; FOLEGA, F.; TRAORE, B.M. quantification of seed oil content and fatty acid profile of *Jatropha curcas* L. from Guizhou, China. **International Journal of Biology**, v. 8, n. 2, 2016.

SHEN, J.; KHA, L.D.; KIEN, N.D.; K. PINYOPUSARERK. Variation in seed traits and oil content in 24 *Jatropha curcas* L. seed sources from Asia, Africa and Papua New Guinea. **Genetica**, v. 62, n. 6, p. 257-264, 2013.

SHER, A.; SULEMAN, M.; QAYYUM, A.; SATTAR, A.; WASAYA, A.; IJAZ, M.; NAWAZ, A. Ridge sowing of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in a minimum till system improves the productivity, oil quality, and profitability on a sandy loam soil under an arid climate. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1-8, 2018.

SHIVANI, P.; KHUSHBU, P.; FALDU, N.; THAKKAR, V.; SHUBRAMANIAN, R.B. Extraction and analysis of *Jatropha curcas* L. seed oil. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 79, p. 18210-18213, 2011.

SCHUSTER, I. Marker-assisted selection for quantitative traits. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 1, p. 50-55, 2011.

SEMAGN, K.; BJØRNSTAD, Å.; NDJIONDJOP, M.N. An overview of molecular marker methods for plants. **African Journal of Biotechnology**, v. 5, n. 25, p. 2540-2568, 2006.

SHEN, B.J.; KHA, L.D.; KIEN, N.D.; PINYOPUSARERK. Variation in seeds traits and oil content in 24 *Jatropha curcas* L. seed sources from Asia, Africa and Papua New Guinea. **Genetica**, v. 62, n. 6, p. 257-264, 2013.

SILITONGA, A.; ATABANI, A.; MAHLIA, T.; MASJUKI, H.; BADRUDDIN, I.A.; MEKHILEF, S. A review on prospect of *Jatropha curcas* for biodiesel in Indonesia. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v. 5, p. 3733-3756, 2011.

SILVA, L.J.; DIAS, D.C.F.S.; MILAGRES, C.C.; DIAS, L.A.S. Relationship between fruit maturation stage and physiological quality of physic nut (*Jatropha curcas* L.) seeds. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 36, n. 1, p. 39-44, 2012.

SILVA, L. J.; DIAS, D.C.F.S.; OLIVEIRA, G.L.; SILVA JÚNIOR, R.A. The effect of fruit maturity on the physiological quality and conservation of *Jatropha curcas* seed. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 3, p. 487-495, 2017.

SILVA, T.N.; MORO, G.V.; MORO, F.V.; dos SANTOS, D.M.M; BUZINARO, R. Correlation and path analysis of agronomic and morphological traits in maize. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 2, p. 351-357, 2016.

SILVA, V.; SARMENTO, M.; SILVEIRA, A.C.; SILVA, C.S.; CICERO, S.M. Avaliação da morfologia interna de sementes de *Acca sellowiana* O. Berg por meio de análise de imagens. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 4, p. 1158-1169, 2013.

SNEDDON, J.; MASURAM, S.; RICHERT, J.C. Gas Chromatography-mass spectrometry basic principles, instrumentation and selected applications for detection of organic compounds. **Analytical Letters**, v. 40, p. 1003-1012, 2007.

SOLOMON RAJU, A.J.; EZRADANAM, V. Pollination ecology and fruiting behaviour in a monoecious species, *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae). **Current Science**, v. 83, n. 11, p. 1395-1398, 2002.

SOUZA, L. A.; de CARVALHO, M. L. M.; KATAO, V. Y.; OLIVEIRA, J. A. Teste de condutividade elétrica para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de mamona. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 1, p. 60-67, 2009.

SOXHLET, F. "Die gewichtsanalytische Bestimmung des Milchfettes". **Dingler's Polytechnisches Journal**, v. 232, p. 461-465, 1879.

SPINELLI, V.M.; DIAS, L.A.S.; ROCHA, R.B.; RESENDE, M.D.V. Yield performance of half-sib families of physic nut (*Jatropha curcas* L.). **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 14, p. 49-53, 2014.

SUBANDI; COMPTON, W.A. Genetic studies in an exotic population of corn (*Zea mays* L.) grown under two plant densities: I. Estimates of genetic parameters. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 44, n. 4, p. 153-159, 1974.

TAMBUNAN, A.H; SITUMORANG, J.P.; SILIP, J.J.; JOELIANINGSIH, A.; ARAKI, T. Yield and physicochemical properties of mechanically extracted crude *Jatropha curcas* L oil. **Biomass and Bioenergy**, v. 43, p. 12-17, 2012.

TANYA, P.; TAEPRAYOON, HADKAM, Y.; SRINIVES, P. Genetic diversity among *Jatropha* and *Jatropha*-related species based on ISSR markers. **Plant Molecular Biology Reporter**, v. 29, p. 252-264, 2011.

- TAR, M.M.; TANYA, P.; SRINIVES, P. Heterosis of agronomic characters in *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.). **Kasetsart Journal (Natural Science)**, v. 45, p. 583-593, 2011.
- TEITELBAUM, J.E.; WALKER, W.A. Review: The role of omega 3 fatty acids in intestinal inflammation. **The Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 12, p. 21-32, 2001.
- TEKRONY, D.M.; EGLI, D.B. Relationship of seed vigor to crop yield: a review. **Crop Science Society of America**, v. 31, n. 3, 1991.
- TEODORO, P.E.; COSTA, R.D.; ROCHA, R.B.; LAVIOLA, B.G. Contribuição de caracteres agronômicos para a produtividade de grãos em pinhão-mansão. **Bragantia**, p.1-6, 2016.
- TOMASS, Z.; HADIS, M.; TAYE, A.; MEKONNEN, Y.; PETROS, B. Larvicidal effects of *Jatropha curcas* L. against *Anopheles arabiensis* (Diptera: Culicidae). **MEJS**, v. 3, p. 52-64, 2011.
- TOMINANGA, N.; KAKIDA, J.; YASUDA, E. K. Cultivo de pinhão-mansão para a produção de biodiesel. Viçosa, **CPT**, 2007. 220p.
- TOPPA, E.V.B.; JADOSKY, C.J. O uso de marcadores moleculares no melhoramento genético de plantas. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 12, n. 1, p. 1-5, 2013.
- TRINDADE, M. S.; LAMEIRA, O. A.; ALMEIDA, L. S.; RIBEIRO, F. N. Fitoquímica de duas espécies do gênero *Jatropha*. In: Congresso Brasileiro de Recursos Genéticos, 2, 2012. Belém, Pará, PA. **Anais...** Brasília, DF: Sociedade Brasileira de Recursos Genéticos, 2012.
- TSAFTARIS, A.S.; KAFKA, M. Mechanisms of heterosis in crop plants. **Journal of Crop Production**, v. 1, n. 1, p. 95-111, 1997.
- TURINAYO, Y.K.; KALANZI, F.; MUDOMA, J.M.; KIWUSO, P.; ASIIMWE, G.M.; ESEGU, J.F.O.; BALITTA, P.; MWANJA, C. Physicochemical characterization of *Jatropha curcas* Linn oil for biodiesel production in Nebbi and Mokono Districts in Uganda. **Journal of Sustainable Bioenergy Systems**, v. 5, p. 104-113, 2015.
- UCHE, F. I.; APRIOKU, J. S. The phytochemical constituents, analgesic and anti-inflammatory effects of methanol extract of *Jatropha curcas* leaves in mice and wister albino rats. **Journal of Applied Sciences and Environmental Management**, v. 12, n. 4, p. 99-102, 2008.
- UGBOGU, A.E.; AKUBUGWO, E. I.; UHEGBU, F.O.; CHINYERE, C.G.; UGBOGU, O.C.; ODUSE, K.A. Quality assessment profile of *Jatropha curcas* (L) seed oil from Nigeria. **International Food Research Journal**, v. 21, n. 2, p. 735-741, 2014.
- UMAMAHESWARID, K.; SUMATHI, R.; SUDHAGAR, R.J.; DEVANAND, P.S.; VISWANATHAN, P.L.; PARAMATHMA, M. Studies on flowering behavior and seed yield of BC4F1 hybrid progenies in *Jatropha*. **Electronic Journal of Plant Breeding**, v. 1, n. 4, p. 1066-1069, 2010.
- UMARU, M.; ABERUAGBA, F. Characteristics of a typical nigerian *Jatropha curcas* oil seeds for biodiesel production. **Research Journal of Chemical Sciences**, v. 2, n. 10, p. 7-12, 2012.

VÁSQUEZ-MAYORGA, M.; FUCHS, E.J.; HERNÁNDEZ, E.J.; HERRERA, F.; HERNÁNDEZ, J.; MOREIRA, I.; ARNÁEZ, E.; BARBOZA, N.M. Molecular characterization and genetic diversity of *Jatropha curcas* L. in Costa Rica. **PeerJ**, p. 1-18, 2017.

VELÍŠEK J., CEJPEK K. Biosynthesis of food constituents: Lipids. 1. Fatty acids and derived compounds – a review. **Czech Journal of Food Sciences**, v. 24, p. 193-216, 2006.

VERONESI, C.O.; SOUZA, C.M.A.; SERRA, A.P.; RAFULL, L.Z.; SILVA, C.J.; ROS, V.V.; CONRAD, V.A. Quality of *Jatropha curcas* L. seeds harvested at different stages of fruit maturation. **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, p. 2716-2725, 2014.

VIDIGAL, D.S.; DIAS, D.C.F.S.; DIAS, L.A.S.; FINGER, F.L. Changes in seed quality during fruit maturation of sweet pepper. **Scientia Agricola**, v. 68, p. 535-539, 2011.

VIEIRA, R.D.; KRZYZANOWSKI, F.C. Teste de condutividade elétrica. *In*: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Brasília: ABRATES, 1999. p. 4.1-4.26.

VIJAYANAND, V.; SENTHIL, N.; VELLAIKUMAR, S.; PARAMATHMA, M. Genetic diversity of indian *Jatropha* species as revealed by morphological and ISSR markers. **Journal Crop Science Biotechnology**, v. 12, n. 13, p. 115-120, 2009.

VIRGENS, I.O.; CASTRO, R.D.; LOUREIRO, M.B.; FERNANDEZ, L.G. Revisão: *Jatropha curcas* L.: aspectos morfofisiológicos e químicos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, p. 1-11, 2017.

WANG, R.; HANNA, M.A.; ZHOU, W.W.; BHADURY, P.S.; CHEN, Q.; SONG, B.A.; YANG, S. Production and selected fuel properties of biodiesel from promising non-edible oils: *Euphorbia lathyris* L., *Sapium sebiferum* L. and *Jatropha curcas* L. **Bioresource Technology**, v. 102, p. 1194-1199, 2011.

WASEEM, S.; ACHARYA, S.; PATEL, J.B. Molecular markers in plant genome analysis: a review. **Agres**, v. 1, n. 2. p. 107-125, 2012.

WINTER, P.; KAHL, G. “Molecular marker technologies for plant improvement. **World Journal of Microbiology & Biotechnology**, v. 11, n. 4, p. 438-448, 1995.

WU, Q.; LIU, T.; LIU, H.; ZHENG, G. Unsaturated fatty acid: metabolism, synthesis and gene regulation. **African Journal of Biotechnology**, v. 8, n. 9, p. 1782-1785, 2009.

WURDACK, K.J.; HOFFMANN, P.; CHASE, M.W. Molecular phylogenetic analysis of uniovulate Euphorbiaceae (Euphorbiaceae sensu stricto) using plastid RBCL and TRNL-F DNA sequences. **American Journal Botany**, v. 92, p. 1397-1420, 2005.

XU, W.; MULPURI, S.; LIU, A. Genetic diversity in the *Jatropha* genus and its potential application. **CAB Reviews**, v. 7, n. 59, p. 1-15, 2012.

YANG, C.Y.; DENG, X.; FANG, Z.; PENG, D.P. Selection of high-oil-yield seed sources of *Jatropha curcas* L. for biodiesel production. **Biofuels**, v. 1, n. 5, p. 705-717, 2010.

- YUSUF, A.K.; MAMZA, P.A.P.; AHMED, A.S.; AGUNWA, U. Extraction and characterization of castor seed oil from wild *Ricinus communis* Linn. **International Journal of Science, Environment and Technology**, v. 4, n. 5, p. 1392-1404, 2015.
- ZAPICO, F.L.; NIVAL, S.K; AGUILAR, C.H.; EROY, M.N. Phenotypic diversity of *Jatropha curcas* L. from diverse origins. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 5, n. 2, p. 215-219, 2011.
- ZAVALA-HERNÁNDEZ, J,T.; CÓRDOVA-TÉLLEZ, L.; MARTÍNEZ-HERRERA, J.; MOLINA-MORENO, J.C. Physiological quality and chemical profile of developing *Jatropha curcas* seeds. **Seed Science and Technology**, v. 43, p. 433-444, 2015.
- ZHU, Q.L.; GU, H.; KE, Z. Congeneration biodiesel, ricinine and nontoxic meal from castor seed. **Renewable Energy**, v. 120, p. 51-59, 2018.
- ZONTA, J.B; ARAUJO, E.F.; ARAUJO, R.F.; ZONTA, J.H.; DIAS, L.A.S.; RIBEIRO, P.H. Armazenamento de sementes de pinhão manso em diferentes embalagens e ambientes. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 2, p. 599-608, 2014.

4. ARTIGO 1 PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA E POTENCIAL BIOATIVO DE EXTRATOS DE *Jatropha curcas* L.

RESUMO

No Brasil, *Jatropha curcas* L. surge como alternativa para o fornecimento de matéria-prima, por possuir alta produtividade de óleo e ser resistente ao estresse hídrico, o que seria uma vantagem significativa principalmente na região semiárida do país. Com o intuito de obter informações sobre o uso do extrato de diferentes partes da planta, realizou-se uma prospecção em bancos de dados de pesquisa científica, tecnológica e de patentes, bem como nos sites do Ministério da Saúde e no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, e da Agência Nacional de Vigilância Sanitária. A partir dos dados obtidos verifica-se a necessidade de se realizar novas pesquisas direcionadas aos multiusos que a espécie possui. Foi constatado grande potencial para uso medicinal, na saúde pública e na agricultura como agente fungicida, acaricida e inseticida. Porém, o incentivo ao cultivo de *J. curcas* em extensas áreas causa grande apreensão com a pesquisa agrícola no Brasil, devido à grande limitação do conhecimento técnico sobre esta cultura. Com isso, torna-se necessária a realização de novas pesquisas direcionadas aos múltiplos usos que a espécie possui. Há registros acadêmicos sobre o uso de extratos de diferentes partes de *J. curcas*, evidenciando a importância desta espécie para a formulação de produtos fitossanitários. Porém, encontrou-se poucos registros de patentes referentes ao uso do extrato de *J. curcas* na formulação de produtos bioativos nas diferentes bases de dados pesquisadas, evidenciando a necessidade de se realizar novas pesquisas direcionadas às diferentes utilidades que esta espécie possui.

Palavras-chave: Pinhão-manso, bioinseticida, patentes.

ABSTRACT

Title: Technological prospecting and the bioactive potential of extracts from *Jatropha curcas* L.

In Brazil, the *Jatropha curcas* L. species is an alternative for the supply of raw material. This is because the species has a high oil content and it is resistant to water stress, which would be a significant advantage, especially in the semiarid regions of the country. In order to obtain information on the use of extracts from different parts of the plant, a survey was made on the scientific, technological and patent research databases, as well as on the websites of the Ministry of Health and the Ministry of Agriculture, Livestock and Supply, together with research on the National Agency of Sanitary Surveillance (ANVISA) website. From the data that was obtained, it became necessary to carry out new research that would be directed at the multi-uses that this species displays. For instance, it was revealed that there was a great potential for its use in medicine, in public health, as well as in agriculture as a fungicide, as an acaricide and as an insecticide. However, the incentive to cultivate *J. curcas* in extensive areas causes a great apprehension within agricultural research in Brazil, due to the significant limitations of technical knowledge regarding this species. With this in mind, it was very necessary to carry out new investigative research directed at the multiple functions that this species exhibits. There were academic records on the use of extracts from different parts of the *J. curcas* plant, evidencing the importance of this species in the formulation of phytosanitary products. However, only a few patent registrations were found regarding the use of *J. curcas* extracts in the formulation of bioactive products, when the different databases that were researched. This evidenced the need to carry out further new research that would be directed at the different utilities that this species possesses.

Keywords: *Jatropha*, bioinseticide, patents.

4.1 Introdução

O gênero *Jatropha* pertence à tribo Joannesieae, família Euphorbiaceae, e contém aproximadamente 170 espécies conhecidas. A espécie *Jatropha curcas* L., é um arbusto amplamente distribuído em áreas selvagens ou semicultivadas nas Américas Central e do Sul, na África e na Ásia. O nome do gênero *Jatropha* deriva da palavra grega *jatr'os* (médico) e *troph'e* (comida), o que implica uso medicinal (KAMAL et al., 2011).

J. curcas L., conhecido no Brasil como pinhão-manso, é uma espécie vegetal oleaginosa cujo óleo, extraído de suas sementes, apresenta múltiplas aplicações para pequenos produtores, além da sua potencial aplicação em diferentes setores industriais, dentre os quais a indústria de biocombustível, constituindo-se, assim, em mais uma fonte de matéria-prima dentro do elenco de espécies oleaginosas úteis (VIRGENS et al., 2017).

Porém, não deve-se considerar apenas o aspecto industrial, econômico, ambiental e social de *J. curcas* como fonte de biodiesel, uma vez que a planta é utilizada para produção de cosméticos (WARRA, 2012), na cultura popular para o tratamento de doenças, com atividades farmacológicas comprovadas em estudos laboratoriais (SANTOS et al., 2008; YUSSUF e MAXUELL, 2010), além da atividade inseticida contra mosquitos (OLAYEMI et al., 2014) transmissores de doenças como febre amarela, zika, chicungunya e dengue (BASSEM et al., 2014; ALVAREZ et al., 2015).

J. curcas pode ainda ser usado na agricultura para diversos fins, pois as plantas do gênero *Jatropha* são produtoras em potencial de metabólitos secundários bioativos como terpenos, esteroides, alcaloides, saponinas, taninos, lignanas, flavonoides e peptídeos (BATISTA et al., 2014). Neste contexto, há um significativo direcionamento para a utilização

de *J. curcas* não apenas como matéria-prima para biodiesel, mas também para a produção de produtos bioativos no Brasil e no mundo (DURÃES et al., 2009).

Através da prospecção tecnológica são levantadas todas as tecnologias existentes, identificando o estágio de maturidade da tecnologia em questão e como ela se insere na sociedade, assim como as lacunas e demandas a serem preenchidas. Diante disso, realizou-se uma revisão e uma prospecção tecnológica sobre *J. curcas* visando apresentar as informações tecnológicas e científicas, assim como os depósitos de patentes existentes sobre esta espécie.

4.2 Material e Métodos

A pesquisa foi realizada utilizando-se as palavras-chave '*Jatropha*', '*Jatropha curcas*', '*Pinhão-manso*', '*Jatropha extract*', '*Jatropha curcas extract*', '*Jatropha larvicidal*', '*Jatropha curcas larvicidal*', '*Jatropha extract larvicidal*' e '*Jatropha curcas extract larvicidal*', '*Jatropha extract inseticidal*', '*Jatropha antifungal*', '*Jatropha curcas antifungal*', '*Jatropha extract antifungal*', '*Jatropha curcas extract antifungal*', '*Jatropha antimicrobial*', '*Jatropha curcas antimicrobial*', '*Jatropha extract antimicrobial*' e '*Jatropha curcas extract antimicrobial*', sendo as mesmas utilizadas para a busca de trabalhos acadêmicos, técnico-científicos e para a busca de patentes, considerando todos os documentos que apresentaram esses termos no título e/ou no resumo. Os dados foram prospectados em dezembro de 2017.

Para o levantamento de dados em bases científicas e tecnológicas foram selecionados os artigos presentes no Portal de Periódicos da Coordenação em Aperfeiçoamento de Nível Superior (CAPES) e nas bases de dados do *Scientific Electronic Library Online* (SciELO).

A prospecção tecnológica foi realizada também nos sites do Ministério da Saúde (MS), Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), Organização Mundial de Propriedade Intelectual (WIPO), Registro Europeu de Patentes (EPO), no Banco Americano de Marcas e Patentes (USPTO), Patentes Internacionais em Português e Espanhol (LATIPAT) e no Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI). Foram analisados todos os depósitos de patentes concedidos até dezembro de 2017.

4.3 Bioatividade de *Jatropha curcas* L.

J. curcas é uma das principais espécies oleaginosas não comestíveis que podem ser utilizadas para a produção de biodiesel em vários países. O cultivo de *J. curcas* pode ser não só uma possibilidade real para a produção de combustíveis para uso local, mas também uma fonte de renda adicional relacionadas à comercialização de seus subprodutos (BASILI e FONTINI, 2012).

Várias partes da planta de *J. curcas* podem ser usadas para fins medicinais em seres humanos e animais domésticos, além dos usos fitossanitários na agricultura, exercendo grande importância etnofarmacobotânica, econômica e ecológica (KUMAR e TEWARI, 2015).

O gênero *Jatropha*, constituído por mais de 170 espécies, é uma importante fonte de metabólitos secundários, porém, existem estudos fitoquímico para apenas 20 destas espécies. Os compostos reportados para as espécies deste gênero são considerados como biorecursos para o desenvolvimento de produtos de interesse para a indústria farmacêutica, principalmente. Existem registrados mais de 150 compostos (mais de 40 são terpenos), sendo *Jatropha curcas* L. a mais estudada. Dentro das classes de metabólitos secundários já identificados estão os flavonoides, os alcalóides, cumarinas, ligano-cumarinas, antraquinonas, glucosídeos não cianogênicos, ciclopeptídeos, fitoesteróis, terpenos, entre outros (CORDOBA-ALBORES, 2014).

Atividade antifúngica por metabólitos secundários de extrato etanólico da casca do caule de *J. curcas* foi observada por Wakirwa et al. (2013), ao identificarem extratos de plantas e óleos essenciais com possíveis efeitos sobre *Phakopsora pachyrhizi* (agente etiológico da ferrugem-asiática da soja).

Resultados obtidos em diversos trabalhos indicam o potencial do uso de extratos de diferentes partes da planta de *J. curcas* para a formulação de produtos farmacológicos e fitossanitários, devido à ação dos metabólitos secundários presentes nesta espécie (Tabela 4.1).

TABELA 4.1 - Bioatividade de extratos de diferentes partes de plantas de *Jatropha curcas* L.

Partes da planta	Atividade	Referências
Sementes	Antioxidante	Fu et al. (2014)
	Antimicrobiana	Goel et al. (2007)
	Antimicrobiana	Arekemase et al. (2011)
	Antibacteriana	Sriprang et al. (2010)
	Antibacteriana	Oskoueian et al. (2011)
	Antifúngica	Saetae e Suntornsuk (2010)
	Antifúngica	Makun et al. (2011)
	Antifúngica	Cordoba-Albores et al. (2014)
	Antifúngica	Srivastrava et al. (2012)
	Inseticida	Devappa et al. (2010)
	Antifúngica	Bashir et al. (2013)
	Antitumoral, moluscida, inseticida	Liu et al. (1997)
	Larvicida	Rug e Ruppel (2000)
	Larvicida	Aina et al. (2009)
	Inseticida	Li et al. (2004)
Inseticida	Silva et al. (2012)	
Inseticida	Ahuchaogu et al. (2014)	
Inseticida	Oliveira et al. (2013)	
Folhas	Antioxidante, antimicrobiana, inseticida	Rampadarath et al. (2014)
	Antimicrobiana	Gupta et al. (2011)
	Antiviral	Patil et al. (2013)
	Antiviral	Dahake et al. (2012)
	Antibacteriana	Akinpelu et al. (2009)
	Antimicrobiana	Ekundayo et al. (2011)
	Antimicrobiana	Kalimuthu et al. (2010)
	Antibacteriana	Setha et al. (2014)
	Antibacteriana	Dada et al. (2014)
	Antifúngica	Onuh et al. (2008)
	Antifúngica	Silva et al. (2008)
	Antifúngica	Ayanbimpe et al. (2009)
	Inseticida	Jide-Ojo e Ojo (2011)
	Inseticida	Chauhan et al. (2015)
	Acaricida	Juliet et al. (2012)
	Larvicida	Kamergam et al. (1997)
	Larvicida	Rahuman et al. (2008)
Larvicida	Kovendan et al. (2011)	
Antifúngica	Rahman et al. (2014)	
Inseticida	Ribeiro et al. (2012)	
Citotóxica	Ribeiro et al. (2012)	
Caule	Antioxidante, citotoxicidade, antimalárica	Altei et al. (2014)
	Antimicrobiana	Igbinosa et al. (2009)
	Antibacteriana, antifúngica e citotoxicidade	Gupta et al. (2010)
	Antibacteriana e antifúngica	Wakirwa et al. (2013)
Raiz	Antifúngica	Akanmu et al. (2014)
	Antimicrobiana	Ayelaagbe et al. (2007)
	Antioxidante	El Diwani et al. (2009)
	Citotoxicidade	Liu et al. (2015)
	Citotoxicidade	Zhang et al. (2013)
	Fungicida, moluscida e inseticida	Rahmam et al. (2011)

Folhas, caule e raiz	Antibacteriana	Namuli et al. (2011)
	Antibacteriana	Aidah et al. (2014)
	Antimicrobiana	Gaikward et al. (2012)
	Antimicrobiana	Lasalita-Zapico et al. (2012)
	Antifungal	Ayanbimpe e Fagbemi (2005)

Fonte: Próprio autor.

Bashir et al. (2013) observaram que o crescimento de *Aspergillus niger* van Tieghem foi fortemente inibido pelo extrato aquoso e pelo extrato etanólico de folhas e sementes de *J. curcas* (65,7 e 57,0% com 160 mg mL⁻¹). Baixas concentrações dos extratos aquoso e etanólico de folhas não apresentaram atividade considerável contra o fungo, exceto o extrato etanólico de folha com 53,3% a 40 mg mL⁻¹. Em estudos *in vivo* observou-se que extratos aquosos de sementes e folhas reduziram a podridão (59,4 e 54,4%) em bulbos de cebola.

A atividade antimicrobiana contra fungos *Candida albicans*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus fumigatus*, *Rhizopus sp.*, e *Mucor sp.* foi observada por Sundari e Selvaraj (2011), podendo-se inferir que o extrato de sementes de *J. curcas* serve como fitoquímico natural contra fitopatógenos (bactérias e fungos) para aplicações agrícolas.

Com o objetivo de otimizar o método de extração de triterpenoides (metabólitos multifuncionais nas plantas), Wei et al. (2015) reportaram que os triterpenoides extraídos de folhas de *J. curcas* apresentaram forte atividade antibacteriana e moderada atividade antifúngica. O extrato etanólico da torta de sementes de *J. curcas* apresentou atividade antifúngica contra fitopatógenos fúngicos importantes como *Fusarium oxysporum*, *Pythium aphanidermatum*, *Lasiodiplodia theobromae*, *Curvularia lunata*, *Fusarium semitectum*, *Colletotrichum capsici* e *Colletotrichum gloeosporioides*. Os ésteres de forbol contidos no extrato foram os principais responsáveis pelas atividades antifúngicas, concluindo-se que o extrato poderia ser usado como um agente antifúngico para aplicações agrícolas (DONLAPORN e SUNTORNSUK, 2011).

Estudos *in vitro* foram realizados para testar a atividade antifúngica do extrato de folhas de *J. curcas* sobre os fitopatógenos *Fusarium oxysporum*, *Alternaria* e *Aspergillus flavus* e os resultados revelaram inibição significativa no crescimento de todos os fungos testados (EL-GANY et al., 2015).

Extratos de folhas de *J. curcas* apresentaram efeito inibitório sobre o crescimento de *Colletotrichum gloeosporioides*, fitopatógeno responsável pela antracnose na cultura do mamoeiro, sendo observada uma significativa atividade antifúngica com zona de inibição equivalente à 78,9% (RAHMAN et al., 2011). Atividade antifúngica de extratos de folhas, caules e raízes de *J. curcas* foi apresentada por Sharma et al. (2012), que observaram a presença de alcaloides, saponinas, taninos, esteroides, terpenoides, glicosídeos, flavonoides e fenol durante a caracterização fitoquímica destes extratos.

4.4 Atividade inseticida de folhas de *Jatropha curcas* L.

Estudos reportam a atividade inseticida de diferentes partes da planta de *J. curcas*, principalmente sob a forma de extratos vegetais (HABOU et al., 2011; JIDE-OJO, 2013; INGLE et al., 2017). A partir das sementes é possível produzir inseticidas, biodiesel (KAZEMBE e CHAIBVA, 2012), fertilizantes (torta), enquanto as folhas possuem substâncias bioativas (CANTRELL et al., 2011; TOMASS et al., 2011).

Estudo sobre o potencial carrapaticida de extrato etanólico de folhas de *J. curcas*, revelou eficiente atividade inibitória do extrato sobre *Rhipicephalus (Boophilus) annulatus*, com a inibição significativa da postura de ovos, podendo ser considerado como uma possível alternativa para controle de populações de carrapatos (JULLIET et al., 2012).

Efeito larvicida do extrato metanólico de folhas de *J. curcas* foi observado sobre larvas do primeiro e quarto instar de *Culex quinquefasciatus* Say (KALIMUTHU et al., 2011). Ao avaliar a eficácia dos extratos aquosos e etanólicos de frutos de *J. curcas* sobre larvas do segundo instar de *Anopheles gambiae* L. em concentrações variáveis, verificou-se que apesar

da baixa mortalidade dos dois tipos de extratos avaliados, o extrato etanólico (33,06%) foi mais efetivo do que o extrato aquoso (20,56%) (AINA et al., 2009).

Em outro estudo, o extrato de folhas de *J. curcas*, preparados com acetona, estendeu a duração dos vários estádios larvais e de pupas de *A. aegypti*, mesmo em concentrações muito baixas, apresentando toxicidade em concentrações mais elevadas (JOISH et al., 2009).

Diversos estudos reportam o efeito inseticida (AZOKOU et al., 2013; KRISHINANANDA et al., 2017) do extrato de folhas de *J. curcas* sobre diferentes famílias de mosquitos, incluindo o *A. aegypti* (Tabela 4.2).

TABELA 4.2 - Bioatividade inseticida de extratos de folhas de *Jatropha curcas* L.

Solvente	Atividade	Referências
Água	Larvicida	Aina et al. (2009)
	Larvicida	Bassem et al. (2014)
Etanol	Larvicida	Kovendan et al. (2011)
	Inseticida	Ratnadass e Wink (2012)
	Larvicida	Beserra et al. (2014)
	Larvicida	Alvarez et al. (2015)
	Larvicida	Sharma et al. (2016)
	Larvicida	Kovedan et al. (2011)
	Larvicida	Gutierrez et al. (2014)
Acetona	Larvicida	Olayemi et al. (2014)
	Larvicida	Murthy e Rani (2009)
Éter de Petróleo	Larvicida	Rahumann et al. (2008)
	Larvicida	Sakthivadivel e Daniel (2008)

Fonte: Próprio autor.

4.5 Prospecção tecnológica

Os dados foram organizados para melhor explorar as informações fornecidas por cada base de dados (Tabela 4.3).

TABELA 4.3 - Número de publicações por palavra-chave nas bases de dados Periódicos CAPES e SciELO.

Palavras-chave	Periódicos CAPES	SciELO
<i>Jatropha</i>	14.530	396
<i>Jatropha extract</i>	3.466	34
<i>Jatropha curcas</i>	7.966	315
<i>Jatropha curcas extract</i>	2.129	15
<i>Jatropha curcas insecticide</i>	246	4
<i>Jatropha curcas extract insecticide</i>	38	1
<i>Jatropha curcas antifungal</i>	386	2
<i>Jatropha curcas extract antifungal</i>	330	0
<i>Jatropha curcas acaricide</i>	24	0
<i>Jatropha curcas extract acaricide</i>	38	0
<i>Jatropha curcas antimicrobial</i>	617	2
<i>Jatropha curcas extract antimicrobial</i>	518	0

Fonte: Próprio autor.

Quando se empregou o epíteto genérico (*Jatropha*), o epíteto específico (*curcas*) e a palavra extrato, houve menor número de artigos e, conseqüentemente, com a retirada do epíteto específico houve um maior número de dados na busca (Figura 4.1).

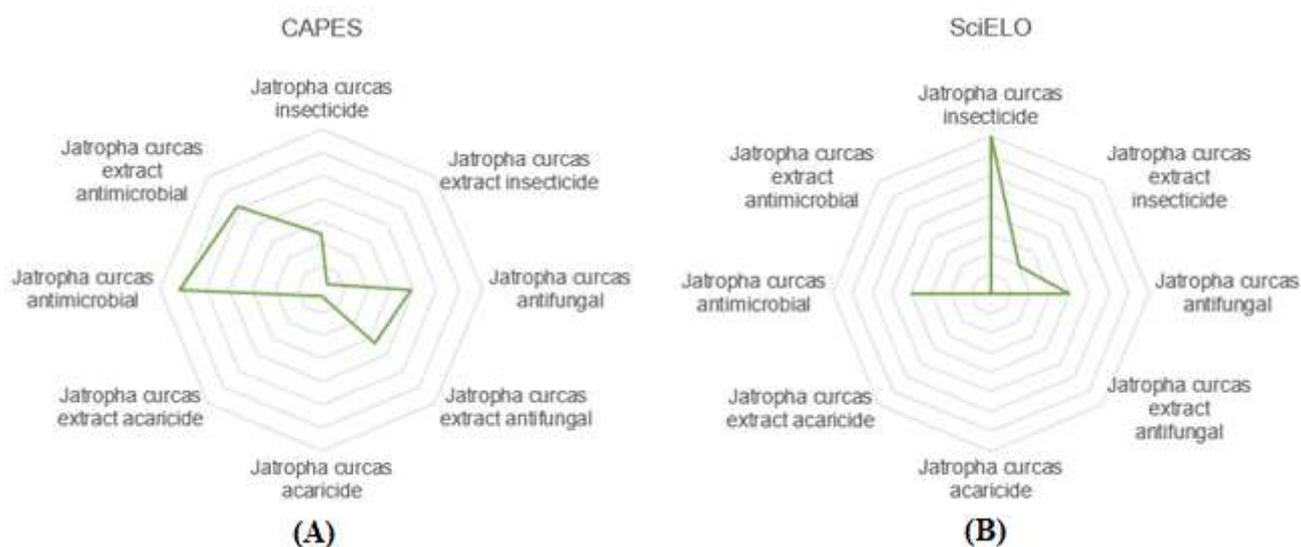


FIGURA 4.1 Publicações nas bases de dados da CAPES (A) e da SciELO (B).

No site do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) não foram encontrados registros de cultivares para a espécie *J. curcas* L. No site do Ministério da Saúde, foram encontradas informações sobre *J. curcas* apenas na Resolução da Diretoria Colegiada – RDC N° 26, de 13 de maio de 2014, que dispõe sobre o registro de medicamentos fitoterápicos e o registro e a notificação de produtos tradicionais fitoterápicos. De acordo com o anexo I desta resolução, *J. curcas* encontra-se na lista das espécies que não podem ser utilizadas na composição de produtos tradicionais fitoterápicos. Quanto ao gênero *Jatropha*, encontrou-se apenas uma matéria datada de 2009 sobre a elaboração da “Relação de Plantas Medicinais de Interesse ao SUS” e outra sobre a relação de monografias relacionadas a projetos de pesquisa.

De acordo com as informações obtidas na base de dados da CAPES, os autores que apresentaram o maior número de trabalhos publicados com a palavra-chave ‘*Jatropha curcas* extract’ foram M. Kadarkarai e K. Kalimuthu. Para a palavras-chave ‘*Jatropha curcas* extract insecticide’, os autores que apresentaram a maior quantidade de trabalhos publicados foram H. Manish e K. Kisan. Já para a palavras-chave ‘*Jatropha curcas* extract antifungal’, os autores que apresentaram a maior quantidade de trabalhos publicados foram M. Kardakarai (3), Kamaraj C. (3) e Mayor, D. (3).

4.6 Descrição de resultados para a espécie *Jatropha curcas* L. nos bancos de dados

4.6.1 Portal de periódicos Capes

A pesquisa expandida para o termo ‘*Jatropha curcas*’ constatou a existência de 11.646 publicações de recursos online e 8.053 periódicos científicos revisados por pares. Os tópicos mais encontrados foram o nome científico da espécie ‘*Jatropha curcas*’ (2128), ‘Biodiesel’ (1488), ‘Biofuels’ (1256) e ‘Engineering’ (1200). As coleções que mais publicaram sobre a espécie foram Materials Science & Engineering Database (811) e Elsevier (CrossRef) (450).

Analisou-se também o tipo de publicação, com o registro de 9.178 artigos, 1.741 artigos de científicos, 193 teses, 154 anais de congressos e 99 livros. Destas informações 10.999 foram

apresentados no idioma inglês, 335 no português, 231 no espanhol e 111 no chinês. O periódico que mais se destacou em número de publicações foi o Biomass & Bioenergy (241).

4.6.2 Resultados do banco de dados SciELO

Na base de dados SciELO o maior número de artigos publicados contendo as palavras ‘*Jatropha curcas*’ foi encontrado nas áreas de Ciências Agrárias (213), seguida pelas áreas de Ciências Biológicas (51), Multidisciplinar (22), Engenharias (21), Ciências da Saúde (11), Ciências Exatas e da Terra (5) e Ciências Sociais Aplicadas (3), com 121 artigos publicados em português, 121 em inglês e 59 em espanhol. Quando utilizaram-se as palavras ‘*Jatropha curcas* antifungal’, apenas 2 artigos foram apresentados, na área de Ciências Biológicas e publicados no periódico ‘Electronic Journal of Biotechnology’, no idioma inglês. Porém ao utilizar as palavras ‘*Jatropha curcas* inseticide’, nenhum artigo foi apresentado.

O maior número de publicações em Ciências Agrárias e Ciências Biológicas deve-se principalmente aos processos e metodologias ligadas à biotecnologia e à interação biótica.

4.6.3 Resultados das bases de patentes

Ao realizar uma comparação entre as diferentes bases de dados usadas durante a prospecção tecnológica, observou-se que o INPI possui o menor número de registros para as palavras-chave utilizadas na pesquisa (Tabela 4.4). Menor quantidade de registros de patentes foi observada também por Mendonça et al. (2014), que ao avaliarem os documentos patentários depositados por base de dados constaram que a instituição brasileira INPI foi a que menos se destacou em números de patentes da espécie *Schinus terebinthifolius*, relacionada ao uso do óleo essencial da mesma.

Não foram encontradas, nos bancos de dados, patentes depositadas com a presença das palavras-chave ‘*Jatropha curcas* inseticide’, *Jatropha curcas* extract inseticide, *Jatropha curcas* extract antifungal, *Jatropha curcas* extract acaricide, *Jatropha curcas* extract antimicrobial.

TABELA 4.4 - Patentes depositadas por base de dados e palavras-chaves até dezembro de 2017 relacionadas à espécie *Jatropha curcas* L.

Palavras-chave	INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial)	WIPO (World Intellectual Property Organization)	EPO (European Patent Office)	USPTO (United States Patent and Trademark Office)	LATIPAT (Banco de Dados de Patentes da Espanha e da América Latina)
<i>Jatropha</i>	16	610	373	1339	373
<i>Jatropha</i> extract	0	23	4	586	4
<i>Pinhão-manso</i>	4	17	1	0	1
<i>Jatropha curcas</i>	11	387	253	231	224
<i>Jatropha curcas</i> extract	0	16	1	118	1
<i>Jatropha curcas</i> antifungal	0	0	0	20	0
<i>Jatropha curcas</i> acaricide	0	0	0	13	0
<i>Jatropha curcas</i> antimicrobial	0	0	0	24	0

Fonte: Próprio autor.

O Brasil ocupa posição inferior aos países que visam colocar a produção de conhecimento no centro do desenvolvimento econômico e social, uma vez que os recursos aplicados em ciência, pesquisa e fomento tecnológico representam 1% do PIB, muito distante das maiores economias, como os Estados Unidos (2,7%) e Japão (3%), ou dos tigres asiáticos, como a Coreia do Sul (2,5%). Porém, nestes países a iniciativa privada, em especial a indústria, responde por 63% dos investimentos em pesquisa e tecnologia, enquanto nas nações

intermediárias o governo assume cerca de 60% dessas inversões no setor (MATIAS-PEREIRA, 2011). Para a palavra '*Jatropha*', o maior número de documentos foi extraído da base de dados USPTO (928), seguido por EPO (480), WIPO (480) e LATIPAT (34). Estes valores discrepantes estão provavelmente relacionados à diferença de investimentos em pesquisa e tecnologia entre os países pertencentes aos bancos de dados estudados.

A biotecnologia possui grande importância para o uso de espécies do gênero *Jatropha*, principalmente no que diz respeito ao melhoramento desta espécie. Porém, como observado no presente trabalho, a prospecção científica e tecnológica sobre o gênero *Jatropha*, com foco na biotecnologia (importante para a geração de novas variedades e processos) como agente agregador na agricultura, concentra-se na publicação de artigos científicos sobre pesquisas e muito pouco na produção de patentes (PEREIRA et al., 2014), destacando-se a ausência de patentes relacionadas à produção de inseticidas oriundos de extratos de folhas de *J. curcas*.

O melhoramento de *J. curcas* é uma poderosa ferramenta de gestão socioeconômica, sendo necessários estudos sobre processos biotecnológicos associados ao melhoramento desta espécie, uma vez que além do conhecido potencial para produção de biodiesel, *J. curcas* possui grande potencial para diversas atividades medicinais e agrícolas.

4.7 Conclusões

Trabalhos científicos revelam potencial medicinal, antifúngico, antimicrobiano e inseticida que o extrato de folhas de *J. curcas* apresenta.

Maior quantidade de pedidos de depósitos de patentes está relacionada ao uso do óleo de sementes para produção de biodiesel.

4.8 Referências Bibliográficas

- AHUCHAOGU, C. E.; OJIAKO, F. O.; KABEH J. D. Evaluation of *Jatropha curcas* Lam. extracts in the control of some field insect pests of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). **International Journal of Scientific & Technology Research**, v. 3, n. 3, p. 136-141, 2014.
- AIDAH, N.; ABDULLAH, N.; OSKOUUEIAN, E.; SIEO, C.C.; SAAD, WAN, Z. Membrane-active antibacterial compounds in methanolic extracts of *Jatropha curcas* and their mode of action against *Staphylococcus aureus* S1434 and *Escherichia coli* E216. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 16, n. 4, p. 723-730, 2014.
- AINA, S.A.; BANJO, A.D.; LAWAL, O.A.; JONATHAN, K. Efficacy of some plant extracts on *Anopheles gambiae* mosquito larvae. **Academic Journal of Entomology**, v. 2, n. 1, p. 31-35, 2009.
- AKANMU, A.O.; ODEBODE, A.C.; ABIALA, M.A.; AIYELAAGBE, O.O.; OLAOLUWA, O.O. Inhibition of *Fusarium* pathogens in millet by extracts of *Jatropha curcas* and *Mangifera indica*. **International Journal of Plant Biology & Research**, v. 2, n. 2, p. 1-8, 2014.
- AKINPELU, D. A.; OLAYINKA, A.; ANTHONY I. O. The bioactive potentials of two medicinal plants commonly used as folklore remedies among some tribes in West Africa. **African Journal of Biotechnology**, v. 8, n. 8, p.1660-1664, 2009.
- ALTEI, W. F.; PICCHI, D. G.; ABISSI, B. M.; GIESEL, G. M.; FLAUSINO JR, O.; REBOUD-RAVAUX, M.; VERLI, H.; CRUSCA JR, E.; SILVEIRA, E. R.; CILLI, M. E.; BOLZANI, V. S. Jatrophin I, a cyclic peptide from Brazilian *Jatropha curcas* L.: Isolation, characterization, conformational studies and biological activity. **Phytochemistry**, v. 107, p. 91-96, 2014
- ALVAREZ, M.R.S.; QUIMING, N.S.; HERALDE, F.M. Screening for larvicidal activity of aqueous and ethanolic extracts of fourteen selected plants and formulation of a larvicide against *Aedes aegypti* (Linn.) and *Aedes albopictus* (Skuse) larvae. **International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering**, v. 9, n. 11, p. 1174-1180, 2015.
- AREKEMASE, M. O.; KAYODE, R. M. O.; AJIBOYE, A. E. Antimicrobial activity and phytochemical analysis of *Jatropha curcas* plant against some selected microorganisms. **International Journal of Biology**, v. 3, n. 3, p. 52-59, 2011.
- AYELAAGBE, O. O.; ADENIYI, B. A.; FATUNSIN, O. F.; ARIMAH, B. D. In vitro antimicrobial activity and phytochemical analysis of *Jatropha curcas* roots. **International Journal of Pharmacology**, v. 3, n. 1, p. 106-110, 2007.
- AYANBIMPE, G. M.; FAGBEMI, O. Antifungal activity of extracts from a hedge plant- *Jatropha curcas* on some pathogenic fungi. **Nigerian Annals of Natural Science**, v. 1, p. 18-22, 2005.
- AYANBIMPE, G. M.; OJO, T. K.; AFOLABI, E.; OPARA, F.; ORSAAH, S.; OJERINDE, O. S. Evaluation of extracts of *Jatropha curcas* and *Moringa oleifera* in culture media for selective inhibition of saprophytic fungal contaminants. **Journal of Clinical Laboratory Analysis**, v. 23, p. 161-164, 2009.

- AZOKOU, A.; KONÉ, M.W.; KOUDOU, B.G.; BI, H.F.T. Larvicidal potential of some plants from West Africa against *Culex quinquefasciatus* (Say) and *Anopheles gambiae* Giles (Diptera: Culicidae). **Journal of Vector Borne Diseases**, p. 103-110, 2013.
- BASHIR, L. U.; GASHUA, I. B.; ISA, M. A.; ALI, A. The antifungal activity of aqueous and ethanol extracts of *Jatropha curcas* L. against *Aspergillus niger* (van Tieghem) that cause black mould rot of onion bulbs in Sokoto, Nigeria. **International Journal of Environment**, v. 2, n. 1, p. 83-90, 2013.
- BASILI, M.; FONTINI, F. Biofuel from *Jatropha curcas*: Environmental sustainability and option value. **Ecological Economics**, v. 78, p. 1-8, 2012.
- BASSEM, F.; LARBI, K.M.; HELA, E.F.O. Larvicidal efficacy of *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae) leaf and seed aqueous extracts against *Culex pipiens* L. **African Journal of Biotechnology**, v. 13, n. 26, p. 2641-2647, 2014.
- BATISTA, P.H.J.; ANDRADE, J.R.M.; MATOSA, T.S.; SOUSA, T.S.; PINTO, F.C.L.; SILVEIRA, E.R.; LOILAB, M.I B.; PESSOA, O.D.L. Terpenoides e cumarinas de *Jatropha ribifolia* (Pohl) Baill. **Química Nova**, v. 37, n. 6, p. 1010-1014, 2014.
- BESERRA, F.P.; AGUIAR, R.W.S.; CARVALHO, E.E.N.; BORGES, J.C.M.; VALE, B.N. *Jatropha curcas* L (Euphorbiaceae) como novo bioinseticida: análise fitoquímica preliminar e atividade larvídica contra *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). **Revista Amazônia: Science & Health**, v. 2, n. 3, 2014.
- CANTRELL, C. L.; ALI, A.; DUKE, S. O.; KHAN, I. Identification of mosquito biting deterrent constituents from the Indian folk remedy plant *Jatropha curcas*. **Journal of Medical Entomology**, v. 48, n. 4, p. 836-845, 2011.
- CHAUHAN, N.; KUMAR, P.; MISHRA, P.; VERMA, S.; MALIK, A.; SHARMA, S. Insecticidal activity of *Jatropha curcas* extracts against housefly, *Musca domestica*. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 19, p. 14793-1480, 2015.
- CORDOVA-ALBORES, L. C.; RIOS, M. Y.; BARRERA-NECHAA, L. L.; BAUTISTA-BANOS, S. Chemical compounds of a native *Jatropha curcas* seed oil from Mexico and their antifungal effect on *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli*. **Industrial Crops and Products**, v. 62, p. 166-172, 2014.
- DADA, E. O.; EKUNDAYO F. O.; MAKANJUOLA, O. O. Antibacterial activities of *Jatropha curcas* (LINN) on coliforms isolated from surface waters in Akure, Nigeria. **International Journal of Biomedical Science**. v. 10, n. 1, p. 25-30, 2014.
- DAHAKA, R.; ROY, S.; PATIL, D.; CHOWDHARY, A.; DESHMUKH, R.A. Evaluation of anti-viral activity of *Jatropha curcas* leaf extracts against potentially drug-resistant HIV isolates. **BMC Infectious Diseases**, v. 12 (Suppl 1), p. 14, 2012.
- DEVAPPA, R.K.; MAKKAR, H.P.S.; BECKER, K. Nutricional, biochemical, and pharmaceutical potential of proteins and peptides from *Jatropha*: review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 11, p. 6543-6555, 2010.

DONLAPORN, S.; SUNTORNSUK, W. Antifungal activities of ethanolic extract from *Jatropha curcas* seed cake. **Journal on Microbiology and Biotechnology**, v. 20, n. 2, p. 319-324, 2010.

DURÃES, F. O. M.; LAVIOLA, B. G.; SUNDFELD, E.; MENDONÇA, S.; BHERING, L. L. Pesquisa, desenvolvimento e inovação em pinhão-mansão para produção de biocombustíveis. Brasília: Embrapa Agroenergia, 2009. 17 p.

EKUNDAYO, F. O.; ADEBOYE, C. A.; EKUNDAYO, E. A. Antimicrobial activities and phytochemical screening of pignut (*J. curcas* Linn.). **Journal of Medicinal Plants of Research**, v. 5, n. 7, p. 1261-1267, 2011.

EL DIWANI, G.; EL RAFIE, S.; HAWASH, S. Antioxidant activity of extracts obtained from residues of nodes leaves stem and root of Egyptian *Jatropha curcas*. **African Journal of Pharmacy and Pharmacology**, v. 3, n. 11, p. 521-530, 2009.

EL-GANY, T. M., A.; ROUSHDY, M. M., ABOUD, M. A. A. Efficacy of certain plant extracts as safe fungicides against phytopathogenic and mycotoxigenic fungi. **Agricultural and Biological Sciences Journal**, v. 1, n. 3, p. 71-75, 2015.

FU, R.; ZHANG, Y.; GUO, Y.; LIU, F.; CHEN, F. Determination of phenolic contents and antioxidant activities of extracts of *Jatropha curcas* L. seed shell, a by-product, a new source of natural antioxidant. **Industrial Crops and Products**, v. 58, p. 265-270, 2014.

GAIKWAD, R. S.; KAKDE, R. B.; KULKARNI, A. U.; GAIKWAD, D. R.; PANCHAL, V. H. In vitro antimicrobial activity of crude extracts of *Jatropha* species. **Current Botany**, v. 3, n. 3, p. 09-15, 2012.

GOEL, G.; MAKKAR, H. P. S.; FRANCIS G.; BECKER, K. Phorbol esters: structure, biological activity and toxicity in animals. **Internacional Journal of Toxicology**, v. 26, p. 279-288, 2007.

GUPTA, S. M.; ARIF, M.; AHMED, Z. Antimicrobial activity in leaf, seed extract and seed oil of *Jatropha curcas* L. plant. **Journal of Applied and Natural Science**, v. 3, n. 1, p. 102-105, 2011.

GUPTA, D D; HAQUE, MD. E.; ISLAM, MD. N.; MONDAL, MD. S. I.; SHIBIB, B. A. Antimicrobial and Cytotoxic activities of *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae). **Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 9, n. 2, p. 139-142, 2010.

GUTIERREZ Jr., P.M.; ANTEPUESTO, A.N.; EUGENIO, B.A.L.; SANTOS, M.F.L. Larvicidal activity of selected plant extracts against the dengue vector *Aedes aegypti* mosquito. **International Research Journal of Biological Sciences**. v. 3, n. 4, p. 23-32, 2014.

HABOU, Z.A.; HAUGUI, A.; MERGEAI, G.; HAUBRUGE, E.; TOUDOU, A.; VERHEGGEN, F.J. Insecticidal effect of *Jatropha curcas* oil on the aphid *Aphis fabae* (Hemiptera: Aphididae) and on the main insect pests associated with cowpeas (*Vigna unguiculata*) in Niger. **Tropicultura**, v. 29, n. 4, p. 225-229, 2011.

IGBINOSA, O. O.; IGBINOSA, E. O.; AIYEGORO, O. A. Antimicrobial activity and phytochemical screening of stem bark extracts from *Jatropha curcas* (Linn). **African Journal of Pharmacy and Pharmacology**, v. 3, n. 2, p. 058-062, 2009.

INGLE, K.P.; DESHMUKH, A.G.; PADOLE, D.A.; DUDHARE, M.S.; MOHARIL, M.P.; KHELURKAR, V.C. Screening of insecticidal activity of *Jatropha Curcas* (L.) against diamond back moth and *Helicoverpa armigera*. **Journal of Entomology and Zoology Studies**, v. 5, n. 1, p. 44-50, 2017.

JIDE-OJO, C.C.; GUNGULA, D.T.; OJO, O.O. Extracts of *Jatropha curcas* L. exhibit significant insecticidal and grain protectant effects against maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Stored Products and Postharvest Research**, v. 4, n. 3, p. 44-50, 2013.

JOISH, M.M.; PATHIPATI, U.R. Biological activity of certain botanical extracts as larvicides against the yellow fever mosquito, *Aedes aegypti* L. **Journal of Biopesticides**, v. 2, n. 1, p. 72-76, 2009.

JULIET, S.; RAVINDRAN, R.; RAMANKUTTY, S.A.; GOPALAN, A.K.K.; NAIR, S.N.; KAVILLIMAKKIL, A.K.; BANDYOPADHYAY, A.; RAWAT, A.K.S.; GHOSH, S. *Jatropha curcas* (Linn) leaf extract - a possible alternative for population control of (*Boophilus*) *annulatus*. **Asian Pacific Journal of Tropical Disease**, p. 225-229, 2012.

KALIMUTHU, K., VIJAYAKUMAR, S.; SENTHILKUMAR, R. Antimicrobial activity of the biodiesel plant, *Jatropha curcas* L. **International Journal of Pharma and Bio Sciences**, v. 1, n. 3, p. 1-5, 2010.

KARMEGAM, N.; SAKTHIVADIVEL, M.; ANURADHA, V.; DANIEL, T. Indigenous-plant extracts as larvicidal agents against *Culex quinquefasciatus* say. **Bioresource Technology**, v. 59, p. 137-140, 1997.

KAZEMBE T. C.; CHAIBVA M. Mosquito repellency of whole extracts and volatile oils of *Ocimum americanum*, *Jatropha curcas* and *Citrus limon*. **Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences**, v. 1, n. 8, p. 65-71, 2012.

KOVENDAN, K., MURUGAN, K., VINCENT, S.; KAMALAKANNAN, S. Larvicidal efficacy of *Jatropha curcas* and bacterial insecticide, *Bacillus thuringiensis*, against lymphatic filarial vector, *Culex quinquefasciatus* Say (Diptera: Culicidae). **Parasitology Research**, v. 109, p. 1251-1257, 2011.

KUMAR, A.; TEWARI, S. K. Origin, distribution, ethnobotany and pharmacology of *Jatropha curcas*. **Research Journal of Medicinal Plant**, v. 9, n. 2, p. 48-59, 2015.

KALIMUTHU, K.; KADARKARAL, M.; SAVARIAR, V.; SIVA, K. Larvicidal efficacy of *Jatropha curcas* and bacterial insecticide, *Bacillus thuringiensis*, against lymphatic filarial vector, *Culex quinquefasciatus* Say (Dipteria: Culicidae). **Parasitology Research**, v. 109, n. 5, p. 1251-1257, 2011.

KAMAL, S.; MANMOHAN, S.; BIRENDRA, S. A review on chemical and medicobiological applications of *Jatropha curcas*. **International Research Journal of Pharmacy**, v. 2, n. 4, p. 61-66, 2011.

KARMEGAM, N.; SAKTHIVADIVEL, M.; ANURADHA, V.; DANIEL, T. Indigenous-plant extracts as larvicidal agents against *Culex quinquefasciatus* say. **Bioresource Technology**, v. 59, p. 137-140, 1997.

KOVENDAN, K., MURUGAN, K., VINCENT, S.; KAMALAKANNAN, S. Larvicidal efficacy of *Jatropha curcas* and bacterial insecticide, *Bacillus thuringiensis*, against lymphatic filarial vector, *Culex quinquefasciatus* Say (Diptera: Culicidae). **Parasitology Resesearch**, v. 109, p. 1251-1257, 2011.

KRISHNANANDA, P.I.; K.P.; DESHMUKH, A.G.; PADOLE, D.A.; DUDHARE, M.S.; MOHARIL, M.P.; KHELURKAR, V.C. Screening of insecticidal activity of *Jatropha curcas* (L.) against diamond back moth and *Helicoverpa armigera*. **Journal of Entomology and Zoology Studies**, v. 5, n. 1, p. 44-50, 2017.

LASALITA-ZAPICO, F. C.; AGUILAR, C. H. M.; MADAS, J. B.; EROY, M. N. Chemical composition, antimicrobial properties and toxicity of *Jatropha curcas* provenances from diverse origins. **International Journal of Agriculture & Biology**, v. 14, n. 4, p. 625-628, 2012.

LI, J.; YAN, F.; WU, F.H.; YUE, B.S.; CHEN, F. Insecticidal activity of extracts from *Jatropha curcas* seed against *Lipaphis erysimi*. **Acta Phytophylacica Sinica**, v. 31, p. 289-293, 2004.

LIU, S. Y.; SPORER F.; WINK M.; JOURDANE J.; HENNING R LI YL.; RUPPEL, A. Anthraquinones in *Rheum palmatum* and *Rumexdentatus* (Polygonaceae), and phorbol esters in *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae) with molluscicidal activity against the Schistosoma vector snails *Oncomelania*, *Biomphalaria*, and *Bulinus*. **Tropical Medicine & International Health**, v. 2, p. 179-188, 1997.

LIU, J.; YANG, Y.; XIA, J.; LI, X.; LI, Z.; ZHOU, L.; QIU, M. Cytotoxic diterpenoids from *Jatropha curcas* cv. *nigroviensrugosus* CY yang roots. **Phytochemistry**, v. 117, p. 462-468, 2015.

MAKUN, H. A.; ANJORIN S. T.; ADENIRAN L. A.; ONAKPA M. M.; MUHAMMAD H. L.; OBU O. R.; AGBOFODE Y. V. Antifungal activities of *Jatropha curcas* and *Ricinus cumunis* seeds on *Fusarium verticilliodes* and *Aspergillus flavus* in yam. **Journal of Agricultural and Biological Science**, v. 6, n. 6, 2011.

MATIAS-PEREIRA, J. A gestão do sistema de proteção à propriedade intelectual no Brasil é consistente? **Revista de Administração Pública**, v. 45, n. 3, p. 567-590, 2011.

MENDONÇA, V. M.; SILVA-MANN, R.; RABBANI, A. R. C. Prospecção tecnológica de óleo essencial de aroeira-da-praia (*Schinus terebinthifolius* RADDI.). **Revista Geintec**, v. 4, n. 1, p. 704-715, 2014.

MURTHY, J.M.; RANI, P.U. Biological activity of certain botanical extracts as larvicides against the yellow fever mosquito, *Aedes aegypti* L. **Journal of Biopesticides**, v. 2, n. 1, p. 72-76, 2009.

NAMULI, A., N. ABDULLAH, C.C. SIEO, W. Z. SAAD AND E. OSKOU EI AN. Phytochemical compounds and antibacterial activity of *Jatropha curcas* Linn. extracts. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 6, n. 16, p. 3982-3990, 2011.

- OSKOUÉIAN, E.; ABDULLAH, N.; AHMAD, S.; SAAD, W.Z.; OMAR, A.R.; HO, Y.W. Bioactive compounds and biological activities of *Jatropha curcas* L. kernel meal extract. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 12, p. 5955-5970, 2011.
- OLAYEMI, L.K.; BUSSARI, J.; ADENIYI, K.A.; UKUBUIWE, A.C. Comparative larvicidal efficacy of leaf and stem extract of *Jatropha curcas* against *Culex pipiens*. **Malaya Journal Biosciences**, v. 1, n. 2, p. 104-108, 2014.
- OLIVEIRA, H. N. de; SANTANA, A.G.; ANTIGO, M. R. Atividade inseticida dos óleos de pinhão-manso (*Jatropha Curcas* L.) e neem (*Azadirachta Indica* A. Juss.) em ovos de *Diatraea Saccharalis* (Fabr., 1794) (Lepidoptera: Crambidae). **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 80, n. 2, p. 229-232, 2013.
- ONUH, M. O.; OHAZURIKE, N. C.; EMERIBE, E. O. Efficacy of *Jatropha curcas* leaf extract in the control of brown blotch disease of cowpea (*Vigna unguiculata*). **Biological Agriculture and Horticulture**, n. 25, p. 201-207, 2008.
- PATIL, D., ROY, S., DAHAKE, R., RAJOPADHYE, S., KOTHARI, S., DESHMUKH, R., & CHOWDHARY, A. Evaluation of *Jatropha curcas* Linn. leaf extracts for its cytotoxicity and potential to inhibit hemagglutinin protein of influenza virus. **Indian Journal of Virology**, v. 24, n. 2, p. 220-226, 2013.
- PEREIRA, S.A.; MENDONÇA, M.S.; BARBALHO, C.R.S. Prospecção do gênero *Jatropha* (Euphorbiaceae) com foco em biotecnologia. **Revista Geintec**, v. 4, n. 5, p. 1424-1434, 2014.
- RAHMAM, M.; AHMAD, S. H.; MOHAMED, M. T. M.; RAHMAM, M. Z. A. Extraction of *Jatropha curcas* fruits for antifungal activity against anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) of papaya. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 48, p. 9796-9799, 2011.
- RAHMAM, M.; AHMAD, S. H.; MOHAMED, M. T. M.; RAHMAM, M. Z. A. Antimicrobial compounds from leaf extracts of *Jatropha curcas*, *Psidium guajava*, and *Andrographis paniculata*. **The Scientific World Journal**, p. 1-8, 2014.
- RAHUMAN, A. A.; GOPALAKRISHNAN, G.; VENKATESAN, P.; GEETHA, K. Larvicidal activity of some Euphorbiaceae plant extracts against *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae). **Parasitology Research**, v. 102, n. 5, p 867-873, 2008.
- RAMPADARATH, S.; PUCHOOA, D.; RANGHOO-SANMUKHIYA. Antimicrobial, phytochemical and larvicidal properties of *Jatropha multifida* Linn. **Asian Pacific Journal of Tropical Medicine**, v. 7, n. 1, p. 380-383, 2014.
- RATNADASS, A.; WINK, M. The phorbol ester fraction from *Jatropha curcas* seed oil: potential and limits for crop protection against insect pests. **International Journal of Molecular Science**, v. 13, p. 16157-16171, 2012.
- RIBEIRO, S. S.; da SILVA, T. B.; MORAES, V. R. S.; NOGUEIRA, P. C. L.; COSTA, E. V. Chemical constituents of methanolic extracts of *Jatropha curcas* L and effects on *spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Química Nova**, v. 35, n. 11, p. 2218-2221, 2012.

RIBEIRO, S. S.; de JESUS, A. M.; dos ANJOS, C. S.; da SILVA, T. B.; SANTOS, A. D. C.; de JESUS, J. R.; ANDRADE, M. S.; SAMPAIO, T. S.; GOMES, W. F.; ALVES, P. B.; CARVALHO A. A.; PESSOA, C.; de MORAES, M. O.; PINHEIRO, M. L. B.; PRATA, A. P. N.; BLANK, A. F.; SIILVA-MANN, R.; MORAES, V. R. S.; COSTA, E. V.; NOGUEIRA, P. C. L.; BEZERRA, D. P. Evaluation of the cytotoxic activity of some Brazilian medicinal plants. **Planta Medica**, v. 78, n. 14, p. 1601-1606, 2012.

RUG, M.; RUPPEL, A. Toxic activities of the plant *Jatropha curcas* against intermediate snail hosts and larvae of schistosomes. **Tropical Medicine & International Health**, v. 5, n. 6, p. 423-430, 2000.

SAETA, D.; SUNTORNSUK, W. Antifungal activities of ethanolic extract from *Jatropha curcas* seed cake. **Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 20, n. 2, p. 319-324, 2010.

SAKTHIVADIVEL M, DANIEL T. Evaluation of certain insecticidal plants for the control of vector mosquitoes viz. *Culex quinquefasciatus*, *Anopheles stephensi* and *Aedes aegypti*. **Applied Entomology and Zoology**, v. 43, p. 57-63, 2008.

SANTOS, W.L.C.; FRANÇA, F.A.; LOPEZ, L.B.; SILVA, G.M.S.; AVELAR, K.E.S.; MORAES, S.R. Atividades farmacológicas e toxicológicas da *Jatropha curcas* (pinhão-manso). **Revista Brasileira de Farmácia**, v. 89, n. 4, p. 333-336, 2008.

SETHA, B.; LAGA, A.; MAHENDRADATTA, M.; FIRDAUS. Antibacterial activity of leaves extracts of *Jatropha curcas*, Linn against enterobacter aerogenes. **International Journal of Scientific & Technology Research**, v. 3, n. 1, p. 129-131, 2014.

SHARMA, A. K.; GANGWAR, M.; TILAK, R.; NATH, G.; SINHA, A. S. K.; TRIPATHI, Y. B.; KUMA, D. Comparative *in vitro* antimicrobial and phytochemical evaluation of methanolic extract of root, stem and leaf of *Jatropha curcas* Linn. **Pharmacognosy Journal**, v. 4, n. 30, p. 30-40, 2012.

SHARMA, A.; KUMAR, S.; TRIPATHI, P. Evaluation of the larvicidal efficacy of five indigenous weeds against an indian strain of dengue vector, *Aedes aegypti* L. (Diptera: Culicidae). **Journal of Parasitology Research**, p. 1-8, 2016.

SILVA, G. N.; FARONI, L. R. A.; SOUSA, A. H.; FREITAS, R. S. Bioactivity of *Jatropha curcas* L. to insect pests of stored products. **Journal of Stored Products Research**, v. 48, p. 111-113, 2012.

SILVA, P. A.; OLIVEIRA, D. F.; PRADO, N. R. T.; CARVALHO, D. A.; CARVALHO, G. A. Evaluation of the antifungal activity by plant extracts against *Colletotrichum gloeosporioides* Penz. **Ciência Agrotécnica**, v. 32, n. 2, p. 420-428, 2008.

SRIPRANG, S., SRIPRANG, N.; SUMPRADIT, T.; SHIMBHU, D. Antibacterial activities of crude extracts from physic nut (*Jatropha curcas*) seed residues. **ScienceAsia**, v. 36, p. 346-348, 2010.

SRIVASTAVA, S.; KUMAR, R.; SINHA, A. Antifungal activity of *Jatropha curcas* oil against some seed-borne fungi. **Plant Pathology Journal**, v. 11, n. 4, p. 120-123, 2012.

SUNDARI, J.; SELVARAJ, R. Antibacterial and antifungal activity of seed extract from *Jatropha curcas* Linn. **International Journal of Current Research**, v. 3, n. 6, p. 084-087, 2011.

TOMASS, Z.; HADIS, M.; TAYE, A.; MEKONNEN, Y.; PETROS, B. Larvicidal effects of *Jatropha curcas* L. against *Anopheles arabiensis* (Diptera: Culicidae). **MEJS**, v. 3, p. 52-64, 2011.

VIRGENS, I.O.; CASTRO, R.D.; LOUREIRO, M.B.; FERNANDEZ, L.G. Revisão: *Jatropha curcas* L.: aspectos morfofisiológicos e químicos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, p. 1-11, 2017.

WAKIRWA, J. H.; IBRAHIM, P.; MADU, S. J. Phytochemical screening and *in vitro* antimicrobial analysis of the ethanol stem bark extract of *Jatropha curcas* Linn. (Euphorbiaceae). **International Research Journal of Pharmacy**, v. 3, n. 4, p. 97-100, 2013.

WARRA, A.A. Cosmetic potentials of physic nut (*Jatropha curcas* Linn.) seed oil: a review. **American Journal of Scientific and Industrial Research**, v. 3, n. 6, p. 358-366, 2012.

WEI, L.; WEI, Z.; YIN, L.; YAN, F.; XU, Y.; CHEN, F. Extraction optimization of total triterpenoids from *Jatropha curcas* leaves using response surface methodology and evaluations of their antimicrobial and antioxidant capacities. **Electronic Journal of Biotechnology**, v. 18, p. 88-95, 2015.

YUSUF.O.; MAXWELL., E. Analgesic activity of the methanolic leaf extract of *Jatropha curcas* (Linn). **African Journal Biomedical Research**, v. 13, p. 149-152, 2010.

ZHANG, X.; LI, F.; ZHAO, Z.; LIU, X.; TANG, Y.; WANG, M. Diterpenoids from the root bark of *Jatropha curcas* and their cytotoxic activities. **Phytochemistry Letters**, v. 5, p. 721-724, 2013.

5. ARTIGO 2

VARIABILIDADE GENÉTICA EM *Jatropha curcas* L. ORIUNDO DE CRUZAMENTOS DIALÉLICOS

Periódico publicado: Genetics and Molecular Research (GMR) - 16 (2), em março de 2017
- <http://www.funpecrp.com.br/gmr/year2017/vol16-2/pdf/gmr-16-02-gmr.16029651.pdf>

RESUMO

Jatropha curcas L. apresenta alta produção de óleo em sua semente a um baixo custo de produção. Entretanto, os conhecimentos técnico-científicos sobre esta cultura ainda são limitados. Este estudo teve como objetivo avaliar e estimar a variabilidade genética entre híbridos obtidos por cruzamentos dialélicos. A variabilidade genética foi realizada usando marcadores moleculares ISSR. Para a avaliação da variabilidade genética foram utilizados nove *primers* e seis foram selecionados, com 80,7% de polimorfismo. A similaridade genética foi obtida utilizando o NTSYS p.c. 2.1, e a análise de agrupamento foi obtida pelo método UPGMA. A similaridade genética média foi de 58,4% entre híbridos. O par mais divergente foi o H1 e H10 e o par mais semelhante foi o H9 e H10. Os marcadores ISSR PCR forneceram um sistema rápido e informativa para a identificação de DNA e permitiram estabelecer as relações genéticas entre os híbridos de *J. curcas*.

Palavras-chave: Pinhão-manso, ISSR, híbridos.

ABSTRACT

Título: Genetic variability in *Jatropha curcas* L. from diallel crossing

Jatropha curcas L. presents a high production of oil in its seed and at a low cost of production. However, the technical-scientific knowledge about this specific plant is still limited. This study has aimed at evaluating and estimating the genetic variabilities among the hybrids that were obtained from diallel crosses. The genetic variabilities were performed by using ISSR molecular markers. For the evaluations of the genetic variabilities, nine primers were used and six were selected with an 80.7% polymorphism. The genetic similarities were obtained by using NTSYSpc 2.1 Software and cluster analyzes were obtained by the UPGMA method. The average genetic similarity was 58.4% among the hybrids. The most divergent pairs were H1 and H10 and the most similar pairs were H9 and H10. The ISSR PCR markers provided a rapid and informative system for their DNA identification and they allowed for establishing the genetic relationships among the hybrids of *J. curcas* species.

Keywords: Physic nut, ISSR, hybrids.

5.1 Introdução

J. curcas é de origem mexicana e centro-americana e é cultivado em muitos outros países da América Latina, Ásia e África como cerca viva. O *J. curcas* foi usado para fins medicinais e amplamente cultivado nos trópicos muito antes dos primeiros registros históricos. É considerada como uma das espécies de plantas oleaginosas com boas características de rendimento de óleo para produção de biodiesel, com cerca de 38% de teor de óleo. Estas vantagens competitivas qualificam o *J. curcas* como uma cultura oleaginosa promissora para o uso comercial (BRASILEIRO et al., 2013).

Quando se compara com outras espécies oleaginosas, o *J. curcas* destaca-se por sua viabilidade econômica e social para a produção de biodiesel. Apesar de ser uma espécie perene, pode atingir a fase produtiva a partir do segundo ano após o crescimento (DIAS et al., 2012).

Muitos estudos sobre a classificação botânica (PESSOA et al., 2011; PIMENTA et al., 2014) e os múltiplos usos de *J. curcas* têm sido relatados. De suas sementes, é possível produzir inseticidas, larvicidas (SAKTHIVADIVEL e DANIEL, 2008), fungicidas (CORDOVA-ALBORES et al., 2014), sabão, fertilizantes (da torta resultante da prensagem) e biodiesel (KAZEMBE e CHAIBVA, 2012). As folhas, caule e raiz também possuem atividades biocidas (RIBEIRO et al., 2012; RAHMAN et al., 2014). Vários tipos de substâncias ativas presentes em diferentes partes da planta e os seus mecanismos de ação têm sido associados também a várias utilizações (PRASAD et al., 2012), tais como a redução do crescimento de células tumorais *in vitro*.

Devido à demanda por material de propagação para o estabelecimento de cultivos comerciais de *J. curcas*, de não existir nenhum programa de melhoramento genético que tenha resultado em ao menos uma cultivar e de não possuir um sistema de produção minimamente validado a campo, para que se possa recomendar a forma de propagação e condução, cultivares de *J. curcas* podem ser inscritas no Registro Nacional de Cultivares (RNC), sem a exigência de mantenedor (BRASIL, 2008).

J. curcas é uma espécie não domesticada que se destaca pela utilização como biocombustível e fins medicinais. O conhecimento da diversidade genética associada aos marcadores moleculares é necessário para o planejamento de estratégias de seleção e de melhoramento (KAUSHIK et al., 2007; MONTES et al., 2014). A tecnologia de marcadores moleculares para a caracterização de germoplasma é uma ferramenta relativamente simples,

rápida e muito importante, utilizada de muitas maneiras diferentes, como mapeamento do genoma, marcação genética, análise filogenética, investigações forenses e diversidade genética (BERED et al., 1997; GROVER e SHARMA, 2014).

O *Inter Simple Sequence Repeats* (ISSR) é uma classe de marcadores que amplifica as regiões do genoma e não necessita de qualquer informação genômica prévia sobre a espécie-alvo. É uma técnica relativamente barata, simples e precisa, e requer pequenas quantidades de DNA para amplificações por PCR, além de poder ser realizada rapidamente de forma eficaz na detecção de diversidade genética dentro de um curto período de tempo (JINGURA e KAMUSOKO, 2015). O ISSR tem sido frequentemente utilizado para a identificação de diversidade genética de *J. curcas* (SEMAGN et al., 2006; KUMAR et al., 2011; PECINA-QUINTERO et al., 2014), gerando informações úteis para o melhoramento vegetal desta espécie (SOONTHORNYATARA et al., 2015).

Em programas de melhoramento genético, a hibridação e os cruzamentos entre híbridos são recursos que aumentam a variabilidade genética e agregam características desejáveis em diferentes genótipos, visando ganhos genéticos e eficiência de seleção (HAUSSMAN et al., 2004).

Poucas pesquisas sobre híbridos de *J. curcas* foram relatadas na literatura. No entanto, muitos estudos têm sido realizados visando a seleção fenotípica de indivíduos para o programa de melhoramento seletivo visando sementes híbridas (MAT et al., 2015). Estudos sobre o desenvolvimento de híbridos interespecíficos e intergenéricos (*J. intergerrima* e *J. multifida*, *J. podagrica* e *Ricinus communis*) reportam a hibridização como ferramenta adequada para seleção de híbridos-elite, evidenciando o seu sucesso na produção de híbridos entre *J. curcas* e espécies estreitamente relacionadas (LAOSATIT et al., 2014).

Embora poucos trabalhos de pesquisa tenham sido realizados utilizando híbridos de *J. curcas*, são necessários mais estudos para compreender os ganhos genéticos que podem existir com hibridizações. Santana et al. (2013) testaram as capacidades gerais e específicas de combinação, parâmetros genéticos e a correlação entre os caracteres morfológicos. A capacidade geral de combinação foi predominante para a maioria das características avaliadas. A herdabilidade estimada foi superior a 70% para o número de ramos secundários, número de flores femininas, diâmetro do caule e altura do ramo. O número de flores femininas representou mais de 50% da variação dos híbridos estudados. Entretanto, a diversidade genética entre os híbridos oriundos dos cruzamentos dialélicos não foi avaliada. Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar, com o uso de marcadores ISSR, a variabilidade genética dos dez híbridos de *J. curcas* obtidos por Santana et al. (2013).

5.2. Material e Métodos

5.2.1 Área e material vegetal

No campo experimental, os híbridos foram cultivados sob o delineamento de blocos ao acaso, com três repetições. Cada parcela experimental é composta por seis plantas, sob o espaçamento 2 x 2 m, totalizando 24 m². Os dez híbridos são oriundos de cruzamento dialélicos envolvendo sete genótipos de *J. curcas* (JCUFS-01, JCUFS-08, JCUFS-13, JCUFS-05, JCUFS-03, JCUFS-04 e JCUFS-15) (Tabela 5.1). Os híbridos foram cultivados na fazenda experimental do Campus Rural da Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, SE, Brasil (latitude 10°55'26''S, longitude 37°11'57''W), sob condições de sequeiro.

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, caracterizado de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013). De acordo com a classificação de Köppen, o clima é do tipo tropical úmido, com temperatura média anual de 25,5°C, e precipitação média anual de 1300 mm.

Tabela 5.1 Híbridos de *Jatropha curcas* L. usados na análise de diversidade genética, São Cristóvão, Sergipe. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

Denominação	Híbrido
H1	1x8
H2	1x13
H3	4x8
H4	3x5
H5	4x5
H6	4x13
H7	3x8
H8	4x15
H9	3x13
H10	1x5

5.2.2. PCR

Amostras de DNA foram isoladas de folhas jovens, como descrito por Nienhuis et al. (1995). A seleção inicial de *primers* resultou em nove *primers* ISSR informativos (UBC 808, UBC 809, UBC 811, UBC 813, UBC 834, GOOFY, OMAR, MAO, and JOHN) do IDT (Integrated DNA Technologies). Reações em PCR foram realizadas com 94°C por 5 minutos, seguido por 35 ciclos à 94°C por 45 segundos, temperatura de anelamento indicada para cada *primer* específico, e 72°C por 90 segundos, com uma extensão final em 72°C por 5 minutos, usando o termociclador TPersonal. Em seguida, os produtos amplificados foram separados por eletroforese em gel de agarose horizontal 1,5% (1X TBE - 89 mM Tris, 89 mM ácido bórico, 2,5 mM EDTA, pH 8,3) (Loccus Biotecnologia LCH 20X25), e voltagem constante de 120 V por 2 horas e 30 minutos. O gel foi corado por GelRed-Biotium® (Biotium Inc., Hayward, CA, USA). Os produtos amplificados foram visualizados sob luz UV.

5.2.3 Análise de dados

Fragmentos intensamente amplificados foram usados durante a análise. O perfil eletroforético de cada gel foi visualmente examinado e definida a ausência (0) ou presença (1) de fragmentos para a construção da matriz binária.

Para a determinação do número ideal de fragmentos amplificados, foram obtidas as estimativas de correlação e de valor de estresse entre as similaridades. As similaridades foram estimadas pelo coeficiente de Jaccard (JACCARD, 1908). O número ótimo de fragmentos foi estimado com o uso do *software* Genes (CRUZ, 2006). O número de diferentes alelos observados, o número de alelos efetivos, a percentagem de locos polimórficos, o índice de diversidade de Shannon, e a diferenciação de Nei foram estimados usando o *software* POPGENE 1.32 (PEAKALL e SMOUSE, 2006).

O agrupamento da similaridade genética entre os híbridos foi feito usando o *software* NTSYSpc 2.1 (ROHLF 2001).

5.3 Resultados

Sequências de nove *primers* IRSS foram analisadas e as amplificações produzidas foram testadas, resultando em seis *primers* informativos (Figure 5.1). Na tabela 5.2 são apresentadas as sequências dos *primers*, a temperatura de anelamento, o número total de locos polimórficos e o polimorfismo para cada *primer* ISSR usado em híbridos de *J. curcas*.

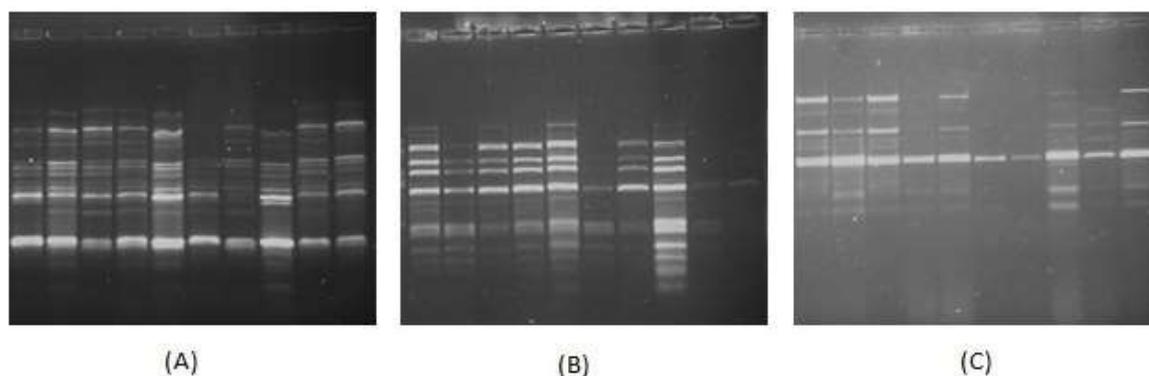


FIGURA 5.1 Fragmentos produzidos por *primers* padrão (A) OMAR, (B) UBC 809 e (C) UBC 811. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

TABELA 5.2 Sequência dos *primers*, temperatura de anelamento (T_a), número total de locos (N), número de locos polimórficos, e porcentagem de cada *primer* ISSR em híbridos de *Jatropha curcas* L. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

<i>Primer</i>	Sequências	T_a (°C)	N	Locos polimórficos	(%)
UBC 808	(AG) 8-C	47	27	25	92,59
UBC 809	(AG) 8-G	48	19	18	94,74
UBC 811	(GA) 8-C	45	12	11	91,67
UBC 834	(AG) 8-YT	47	12	7	58,33
GOOFY	(GT) 7-YG	48	10	8	80,0
OMAR	(GAG) 4-RC	47	24	18	66,67
Mean	-	-	17,3	14,5	80,7
Total	-	-	104	87	-

D, Y, e V significam os oligonucleotídeos degenerados: D = (A, G, T); Y = (C, T); and V = (A, C, G).

Dos 104 locos, 87 foram polimórficos, correspondendo a 80,7%, com uma média de polimorfismo de 17,3 locos por *primer*. As porcentagens máxima e mínima de locos polimórficos foram 94,74% (UBC 809) e 58,33% (UBC 834). Dentre os seis *primers* usados, apenas o UBC 834 apresentou polimorfismo abaixo de 60%. Os híbridos de *J. curcas* apresentaram similaridade genética de 58,4% (Tabela 5.3).

TABELA 5.3 Similaridade genética entre 10 híbridos de *Jatropha curcas* L. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

Híbridos	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10
H1	1,00									
H2	0,66	1,00								
H3	0,63	0,64	1,00							
H4	0,60	0,67	0,65	1,00						
H5	0,62	0,59	0,68	0,60	1,00					
H6	0,59	0,61	0,64	0,56	0,65	1,00				
H7	0,63	0,59	0,58	0,60	0,49	0,48	1,00			
H8	0,59	0,65	0,56	0,60	0,65	0,55	0,57	1,00		
H9	0,57	0,61	0,54	0,52	0,49	0,57	0,68	0,51	1,00	
H10	0,47	0,51	0,52	0,50	0,51	0,55	0,55	0,55	0,69	1,00

Resultados similares encontrados neste estudo usando o *primer* UBC 834 foram obtidos em estudo sobre a estimativa de diversidade genética entre 16 acessos de *J. curcas* com marcadores ISSR, com porcentagem de polimorfismo igual a 57% (CAMELLIA et al., 2012).

Entretanto, em um estudo sobre a correlação de diversidade genotípica e fenotípica, 35,7% de polimorfismo foi obtido usando o *primer* UBC 809 (SUNIL et al., 2011), inferior ao observado neste estudo.

O número total de locos do marcador do genótipo é 104, e varia de 10 (GOOFY) a 27 (UBC 808). Um estudo com 224 genótipos de *J. curcas* de diferentes regiões da China, avaliado por marcadores ISSR, selecionou 15 *primers* com boa confiabilidade e reprodutibilidade. Os *primers* UBC 808, 809 e 834 foram definidos como mais informativos. Um total de 169 fragmentos amplificados foram obtidos, variando de 160 pb a 2,4 kb (CAI et al., 2010).

A maior divergência entre os híbridos de *J. curcas* entre o H1 e H10 (Figura 5.2). A maior similaridade (68,7%) foi observada entre os híbridos H9 e H10 (Tabela 5.3).

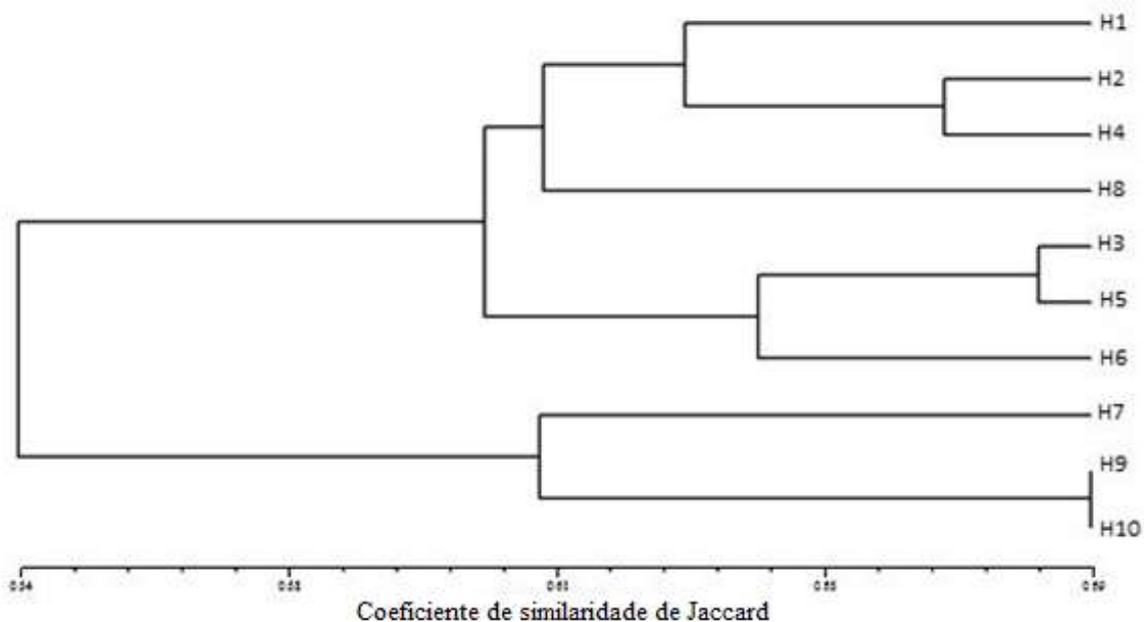


FIGURA 5.2 Dendrograma da estimativa de similaridade genética estimada pelo coeficiente de Jaccard por UPGMA para 10 híbridos de *Jatropha curcas* L. H1. 1x8; H2. 1x13; H3. 4x8; H4. 3x5; H5. 4x5; H6. 4x13; H7. 3x8; H8. 4x15; H9. 3x13; H10. 1x5. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

Os padrões de ramificação no dendrograma resultaram em três grupos principais. Grupo I, formado pelos híbridos H1, H2, H4 e H8; grupo II, formado pelos híbridos H3, H5 e H6; e grupo III, formado pelos híbridos H7, H9 e H10.

Na Malásia, a caracterização molecular de 48 acessos de *J. curcas* de três regiões diferentes foi realizada utilizando 10 *primers* ISSR. A porcentagem de polimorfismo observada entre as populações variou de 90,75 a 100%, e 94% da variação total foi observada dentro das populações com 11 grupos distintos. A estimativa do índice de Shannon, o número efetivo de alelos e o número de alelos diferentes são 0,556, 1,690 e 1,926, respectivamente (AROLU et al., 2012).

No presente estudo, o número médio de alelos efetivos foi de 1,542; enquanto o número de alelos diferentes foi 1,817 e o índice de Shannon 0,450.

Os híbridos foram analisados com base em 104 locos obtidos com seis *primers*. O ISSR mostrou-se adequado e eficiente para detecção do polimorfismo entre híbridos de *J. curcas*. Uma porcentagem menor de polimorfismo foi obtida por He et al. (2007) e Cai et al. (2010) usando ISSR. No entanto, foi superior ao relatado por Machua et al. (2011), com 55,33%, utilizando RAPD. Informações adicionais foram relatadas por Mastan et al. (2012), que

obtiveram polimorfismo de 56,43, 57,90 e 36,84, utilizando RAPD, AFLP e SSR, respectivamente. O número ótimo de locos para a obtenção da precisão da estimação genética é de 103 fragmentos polimórficos para um estresse de 0,0097 e a correlação ótima (r) é de 0,9962.

5.4 Discussão

Baixa variabilidade genética tem sido observada em *J. curcas* por marcadores moleculares, como AFLP, SSR, RAPD e ISSR em vários estudos realizados no Brasil e no mundo (SUN et al., 2008; ROSADO et al., 2010; SALVADOR-FIGUEIRÔA et al., 2015). A alta variabilidade genética é essencial para a obtenção de ganhos genéticos por métodos de hibridização. Os resultados obtidos neste estudo, como a alta taxa de polimorfismo entre os híbridos estudados, podem contribuir para futuros programas de reprodução dessa espécie.

Os resultados obtidos apresentaram alta porcentagem de polimorfismo (80,7%), com exceção do *primer* UBC UBC 834. Altas taxas de polimorfismo entre acessos de *J. curcas* também foram encontrados em estudos conduzidos por Arolu et al. (2012) e Sentil Kumar et al. (2009), com destaque para a ampla gama de polimorfismo intrapopulacional.

As altas taxas de polimorfismo (81,1%) e alta diversidade genética foram relatadas com 134 acessos de *J. curcas* coletados em Chiapas (México) usando marcadores AFLP. O número de alelos efetivos, o índice de Shannon e de diversidade de Nei foram 1.303, 0.306 e 0.192, respectivamente (OVANDO-MEDINA et al., 2011).

Os resultados deste estudo são semelhantes aos estimados para acessos de *J. curcas* coletados no estado de São Paulo (Brasil), utilizando AFLP, em que o número médio de alelos diferentes foi de 1,809 e o índice de Shannon foi de 0,386 (PIOTO et al., 2015).

Estes resultados corroboram os valores médios encontrados neste estudo, onde obteve-se um número médio de alelos efetivos de 1,542, número médio de alelos diferentes de 1,817 e índice de Shannon de 0,450. Estudos com marcadores ISSR em 158 indivíduos de diferentes populações de Yunnan (China) obtiveram valores médios para o número de alelos efetivos de 1,382, índice de Shannon de 0,317 e taxa de polimorfismo de 55,05% (XIANG et al., 2007).

A distância genética forneceu uma ampla base genética (0,47 a 0,69), que pode ser usada para seleção de híbridos elite. No entanto, considerando que quanto menor o índice de Shannon, menor é o grau de incerteza e diversidade dos indivíduos, e quanto maior o índice de Shannon, maior é a diversidade, os resultados mostram níveis baixos a moderados de diversidade genética entre os híbridos. Sugerindo, de uma forma geral, uma baixa variabilidade dentro dos grupos.

Valores semelhantes foram encontrados para o número total de locos. Os *primers* UBC 808, UBC 809 e UBC 811 confirmam os resultados obtidos por Tanya et al. (2011), que também relataram maiores taxas de polimorfismo com esses *primers*.

Em contraste aos resultados obtidos neste estudo, baixa porcentagem de polimorfismo (19,9%) foi observada usando 13 *primers*, com 2,8 bandas polimórficas por *primer*. O *primer* UBC 834 gerou o maior número de fragmentos polimórficos (ALKIMIN et al., 2013), semelhante ao valor obtido neste estudo.

Baixa porcentagem de polimorfismo (35,5%) também foi observada entre genótipos de diferentes países, com o uso de marcadores ISSR. Os resultados estão relacionados ao número limitado de germoplasma nesses países (BASHA et al., 2009). Os resultados encontrados por esses autores corroboram os reportados por Basha e Sujatha (2007), que detectaram baixa variabilidade (33,5%) em um grupo formado por 42 genótipos oriundos da Índia. No entanto, seus resultados diferem dos encontrados por Gravitol et al. (2011), que testaram 322 acessos de diferentes regiões do Brasil. Os resultados indicam alto polimorfismo (91%) entre acessos e são semelhantes aos valores obtidos no presente estudo.

Estudos sobre marcadores foram relatados para várias espécies, como *Ricinus communis* L., *Manihot esculenta* (VIDAL et al., 2015), *Hevea brasiliensis* (MANTELO et al., 2012) e *Jatropha curcas* L. (CAMMELLIA et al., 2012). Nestes estudos, o número mínimo de locos

marcadores foi determinado, o que resulta em uma boa precisão e otimiza o tempo e os recursos para a caracterização genética. Durante a análise da diversidade genética entre os genótipos de *J. curcas*, a seleção prévia dos *primers* mais sensíveis para detecção de amplificação e polimorfismo deve ser realizada.

Neste estudo, os marcadores ISSR mostraram várias bandas informativas em uma única amplificação. Resultados semelhantes foram obtidos em genótipos do gênero *Jatropha*, revelando 100% de polimorfismo (KUMAR et al., 2009). Mavuso et al. (2015) observaram um polimorfismo de 85,19%. Estes resultados destacam a eficácia dos marcadores ISSR na detecção de polimorfismo em *J. curcas*, quando comparados com outros marcadores moleculares. Os híbridos testados neste estudo estão agrupados em três grupos (Figura 5.2).

Proporcionalmente, este estudo discrimina melhor a diversidade genética entre os híbridos quando comparado com os resultados relatados por Soonthornyatara et al. (2015), que avaliaram 138 acessos de *J. curcas* de diferentes países. Esses autores usaram marcadores ISSR e AFLP e obtiveram dois grupos, enquanto Kole et al. (2015) (com 182 genótipos) e Verma et al. (2013) (com 30 acessos) usaram marcadores RAPD e encontraram dois e sete grupos, respectivamente.

Com base no dendrograma, foram avaliadas a homogeneidade máxima e heterogeneidade de híbridos dentro e entre grupos, respectivamente. A informação sobre a diversidade genética observada entre os híbridos pode ajudar a obter ganhos genéticos associados ao potencial produtivo dos futuros híbridos.

O grupo I inclui os híbridos obtidos dos genitores JCUFS-01, JCUFS-03, JCUFS-04, JCUFS-05, JCUFS-08, JCUFS-13 e JCUFS-15; o grupo II apresenta híbridos com os genitores JCUFS-04, JCUFS-05, JCUFS-08 e JCUFS-13. Os híbridos H3 (4 x 8), H5 (4x5) e H6 (4x13) apresentaram alta similaridade (65,7%) e pertencem ao mesmo grupo (grupo II), e apresenta JCUFS-04 como genitor comum.

O híbrido H8 (4x15), apesar de pertencer ao grupo I, também apresentou nível de similaridade moderada (58,7%) com híbridos H3, H5 e H6. O genitor JCUFS-04 está presente apenas nos grupos I e II. Este genitor comum concentra alelos favoráveis para a produção de sementes, massa de 100 sementes, diâmetro do caule, número de ramo, ramo de altura e diâmetro da coroa. O JCUFS-05 apresenta alelos favoráveis para a produção de sementes, diâmetro do caule e altura das plantas e ramo. Além de JCUFS-04 e JCUFS-05, o genitor JCUFS-13 também se destacou devido a alelos favoráveis para massa de 100 sementes, número de ramos secundários e diâmetro do dossel (SANTANA et al., 2013). Os grupos I e II compreendem híbridos derivados de cruzamentos entre esses pais, evidenciando o potencial desses grupos para melhorar os ganhos genéticos em *J. curcas*.

O grupo III consiste em híbridos H7 (3x8), H9 (3x13) e H10 (1x5). O genitor JCUFS-01 pai está presente nos cruzamentos dos grupos I e III. Os genitores JCUFS-13 podem ser distinguidos pelo maior teor de óleo de semente, possui estádio vegetativo curto, baixa proporção de flores estaminais para pistilar em uma inflorescência e alto desempenho da produção de sementes (PESSOA et al., 2011).

Os híbridos H1 e H10 foram os mais divergentes. No entanto, mostraram um nível moderado de diversidade genética (47,0%). Os híbridos H9 (3x13) e H10 (1x5) apresentaram alta similaridade genética (69,0%) (Figura 5.1 e Tabela 5.3). Esses híbridos são distinguidos pela existência de interação positiva entre os genitores, ou seja, habilidade de combinação específica (SANTANA et al., 2013).

Grupos heteróticos são fundamentais em programas de melhoramento, devido às possibilidades de obtenção de híbridos de elite. A informação gerada pelos marcadores ISSR neste estudo poderia ser útil para planejar cruzamentos visando a heterose em futuras combinações híbridas, a fim de obter material genético com superioridade consistente.

Estudos mostram a alta semelhança genética entre acessos de *J. curcas* em vários países, obtidos por diferentes marcadores moleculares (PAMIDIAMARRI, et al., 2009; SINGH et al., 2010; KHURANA-KAUL et al., 2012). O germoplasma de *J. curcas* das ilhas do Oceano

Pacífico e continentes do Brasil, Moçambique e Senegal possui alto nível de similaridade genética dentro das populações (RICCI et al., 2012), reforçando a hipótese de que as populações de *J. curcas* podem apresentar alta homozigotidade (BASHA et al., 2009).

Como uma espécie monoica, é esperado loco heterozigótico, com predisposição para cruzamento. No entanto, o *J. curcas* é capaz de produzir frutos por autopolinização e polinização cruzada (DIVAKARA et al., 2009; WANG e DING, 2012). Esta espécie não apresenta problemas de autocompatibilidade, resultando em altas taxas de fertilização em processos de geitonogamia (acima de 80%), independentemente da flor doadora de pólen pertencer ou não à mesma inflorescência da mesma planta (PAIVA NETO et al., 2010).

A baixa diversidade genética detectada entre os acessos de *J. curcas* em diferentes regiões do mundo pode resultar da introdução de sementes de um pequeno número de plantas em países com pouca diversidade ou sementes de fontes geográficas que não possuem alta diversidade genética desta espécie, ou ambas. Poucos eventos podem ter ocorrido no passado para a introdução do material genético de *J. curcas*, o que aumentou o nível de endogamia devido à estreita diversidade genética, resultando em aumento da homozigotidade nas gerações subsequentes (PRATIMA et al., 2013).

Os acessos de *J. curcas* de diferentes regiões do Brasil apresentam uma base genética estreita, provavelmente devido a uma ancestral comum e à reprodução desses materiais genéticos, de preferência por geitonogamia. Esses fenômenos contribuíram para a ocorrência do isolamento de plantas no país. Apesar da base genética estreita, a alta plasticidade fenotípica possibilita uma ampla adaptação em diferentes ambientes (ROSADO et al., 2010).

Esta informação corrobora com níveis moderados a altos de similaridade genética obtidos neste estudo. Isso provavelmente deve-se ao fato dos híbridos oriundos de cruzamentos entre genitores da mesma região do Brasil (Minas Gerais), com exceção dos pais JCUFS-13 e JCUFS-15 (Goiás). Assim, a variabilidade genética entre acessos é geneticamente dependente de sua origem (SANTOS et al., 2010). O isolamento genético e geográfico afeta o nível de diversidade genética entre espécies (TRIPATHI et al., 2007).

As atividades humanas são cruciais para a diversidade genética de *J. curcas* e o baixo nível de variabilidade pode ser explicado por essas atividades, resultando em alta frequência de homozigotos. No entanto, a maior parte da variabilidade genética pode ser essencialmente epigenética, o que poderia explicar a variação fenotípica sem a necessidade de mudanças nas sequências de DNA (MAGHULY et al., 2015).

Para obter ganhos genéticos e fenotípicos para o sucesso do programa de melhoramento de *J. curcas*, a introdução de acessos dos centros de origem é crucial, devido à alta diversidade encontrada nesses locais. Foi observada alta homozigotidade e uniformidade genética entre acessos de *J. curcas* cultivados em vários países da América do Sul, África e Ásia, apoiando a ideia geral de que a região da América Central é o centro de origem e apresentam ampla variabilidade genética e níveis de heterozigosidade (TREBBI et al., 2015).

Apesar de várias informações sobre a variabilidade genética entre acessos de *J. curcas* de diferentes regiões do mundo, poucos estudos (BASHA e SUJATHA, 2009; PARTHIBAN et al., 2009) foram realizados em híbridos e, portanto, estudos sobre a associação baseada na cosegregação entre genótipos potenciais para os caracteres de interesse, com o uso de marcadores moleculares, como SSR, AFLP e ISSR, são necessários (ACHTEN et al., 2010).

Portanto, o desenvolvimento de novos híbridos e cultivares é um requisito essencial para aumentar o rendimento. A exploração da diversidade genética e a maior caracterização dos recursos genéticos são critérios primordiais para o cultivo de *J. curcas*. Além do uso de informações sobre parâmetros moleculares e similaridade genética, os caracteres fenotípicos também são importantes para a obtenção de híbridos com desempenho agrônomico superior, como produção, conteúdo e qualidade do óleo. A hibridação é um método usado em programas de melhoramento genético de plantas, bem como a obtenção de características desejáveis de diferentes genitores em um único indivíduo. Estudos sobre hibridização intraspecífica

revelaram altas associações entre caracteres agronômicos e componentes de rendimento em seis híbridos de *J. curcas* (TAR et al., 2011).

A geração de híbridos visa aumentar gradualmente a frequência de alelos favoráveis e obter indivíduos superiores em suas populações. Ao avaliar o rendimento das sementes, podem ser obtidos híbridos superiores com base em informações sobre heterose (ISLAM et al., 2011) e variabilidade genética. Assim, a comercialização de híbridos de *J. curcas* pode ser considerada com base na heterose para vários traços de produção.

5.5 Conclusões

Os *primers* ISSR utilizados neste estudo são importantes para a detecção de polimorfismos. Eles também são eficientes em estudos de variabilidade genética entre os híbridos de *J. curcas* oriundos de cruzamentos dialélicos. Além disso, uma boa discriminação é encontrada para o agrupamento quando comparado com vários estudos sobre variabilidade genética entre indivíduos cultivados em diferentes regiões do mundo.

Por conseguinte, mais estudos são importantes para a constituição de coleções centrais visando a diversidade genética para a obtenção de genótipos superiores, uma vez que o sucesso desses híbridos resultará do efeito heterótico obtido com genótipos de capacidade específica e geral de combinação.

5.6 Referências Bibliográficas

- ACHTEN, W.M.J.; NIELSEN, L.R.; AERTS, R.; LENGKEEK, A.G.; ERIK, D.; TRABUCCO, K.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.
- ALKIMIN, E.R.; SOUSA, T.V.; SOARES, B.O.; SOUZA, D.A.; JUHÁSZ, A.C.P.; NIETSCHKE, S.; COSTA, M.R. Genetic diversity and molecular characterization of physic nut genotypes from the active germplasm bank of the Agricultural Research Company of Minas Gerais, Brazil. **African Journal of Biotechnology**, v. 12, n. 9, p. 907-913, 2013.
- AROLU, I.W.; RAFII, M.Y.; HANAFI, M.M.; MAHMUD, T.M.M.; LATIF, M.A. Molecular characterization of *Jatropha curcas* germplasm using inter simple sequence repeat (ISSR) markers in Peninsular Malaysia. **Australian Journal of Crop Science**, v. 6, n. 12, p. 1666-1673, 2012.
- BASHA, S.; SUJATHA, M. Genetic analysis of *Jatropha* species and interspecific hybrids of *Jatropha curcas* using nuclear and organelle specific markers. **Euphytica**, v. 168, n. 2, p. 197-214, 2009.
- 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, n. 3, p. 375-386, 2007.
- BASHA SD, FRANCIS G, MAKKAR HPS, BECKER K, SUJATHA, M. 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.
- BERED, F.; BARBOSA NETO, J.F.; CARVALHO, F.I.F. Marcadores moleculares e sua aplicação no melhoramento genético de plantas. **Ciência Rural**, v. 27, n. 3, p. 513-520, 1997.
- BRASIL. Instrução normativa No. 4, de 14 de janeiro de 2008. Diário Oficial da União, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, 15 janeiro de 2008, Seção I, p.4.
- BRASILEIRO, B.P.; SILVA, S.A.; SOUZA, D.R.; SANTOS, P.A.; OLIVEIRA, R.S.; LYRA, D.H. Genetic diversity and selection gain in the physic nut (*Jatropha curcas*). **Genetics and Molecular Research**, v. 12, n. 3, p. 2341-2350, 2013.
- CAI, Y.; SUN, D.; WU, G.; PENG, J. ISSR-based genetic diversity of *Jatropha curcas* germplasm in China. **Biomass and Bioenergy**, v. 34, n. 12, p. 1739-1750, 2010.
- CAMELLIA, N.A.N.; LEE, A.T.; ABDULLAH, N.A.P. Genetic relationships and diversity of *Jatropha curcas* accessions in Malaysia. **African Journal of Biotechnology**, v. 11, n.13, p. 3048-3054, 2012.
- CORDOVA-ALBORES, L.C.; RIOS, M.Y.; BARRERA-NECHAA, L.L.; BAUTISTA-BANOS, S. Chemical compounds of a native *Jatropha curcas* seed oil from Mexico and their antifungal effect on *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli*. **Industrial Crops and Products**, v. 62, p. 166-172, 2014.

CRUZ, C.D. Programa GENES. Versão 4.1. UFV, Viçosa. 2006.

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

DIVAKARA, B.N.; UPADHYAYA, H.D.; WANI, S.P.; LAXMIPATHI-GOWDA, C.L. Biology and genetic improvement of *Jatropha curcas* L.: a review. **Applied Energy**, v. 87, n. 3, p. 732-742, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (2013). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3rd edn. Embrapa, Brasília.

GRATIVOL, C.; LIRA-MEDEIROS, C.F.; HEMERLY, A.S.; FERREIRA, P.C.G. High efficiency and reliability of inter-simple sequence repeats (ISSR) markers for evaluation of genetic diversity in Brazilian cultivated *Jatropha curcas* L. accessions. **Molecular Biology Reports**, v. 38, n. 7, p. 4245-4256, 2011.

GROVER, A.; SHARMA, P.C. Development and use of molecular markers: past and present. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 36, n. 2, p. 290-302, 2014.

HAUSSMANN, B.I.G.; PARZIES, H.K.; PRESTERL, T.; SUSIC, Z.; MIEDANER, T. Plant genetic resources in crop improvement. **Plant Genetic Resources**, v. 2, n. 1, p. 3-21, 2004.

HE, W.; GUO, L.; WANG, L.; YANG, W.; TANG, L.; CHEN, F. ISSR analysis of genetic diversity of *Jatropha curcas*. **Chinese Journal of Applied & Environmental Biology**, v. 13, n. 4, p. 466-470, 2007.

ISLAM, A.A.K.M.; ANUAR, N.; YAAKOB, Z.; OSMAN, M. Heterosis for seed yield and its components in *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.). **International Journal of Plant Breeding**, v. 5, n. 2, p. 74-79, 2011.

JACCARD, P. Nouvelles recherches sur la distribution florale. **Bulletin Société Vaudoise des Sciences Naturelles**, v. 44, p. 223-270, 1908.

JINGURA, R.M.; KAMUSOKO, R. Utility of markers for determination of genetic diversity in *Jatropha*: a review. **The Open Renewable Energy Journal**, v. 8, p. 1-6, 2015.

KAUSHIK, N.; KUMAR, K.; KUMAR, S.; ROY, S. Genetic variability and divergence studies in seed traits and oil content of *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) accessions. **Biomass and Bioenergy**, v. 31, n. 7, p. 497-502, 2007.

KAZEMBE, T.C.; CHAIBVA, M. Mosquito repellency of whole extracts and volatile oils of *Ocimum americanum*, *Jatropha curcas* and *Citrus limon*. **Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Science**, v. 1, n. 8, p. 65-71, 2012.

KHURANA-KAUL, V.; KACHHWAHA, S.; KOTHARI, S.L. Characterization of genetic diversity in *Jatropha curcas* L. germoplasm using RAPD and ISSR markers. **Indian Journal of Biotechnology**, v. 11, p. 54-61, 2012.

KOLE, P.R.; BHAT, K.V.; CHAUDHURY, R.; MALIK S.K. Genetic variation among *Jatropha curcas* L. using dominant molecular marker collected from different agro-climatic

regions of India. **Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, v. 75, n. 2, p. 267-270, 2015.

KUMAR, R.S.; PARTHIBAN, K.T.; RAO, M.G. Molecular characterization of *Jatropha* genetic resources through Inter-Simple Sequence Repeat (ISSR) markers. **Molecular Biology Reports**, v. 36, n. 7, p. 1951-1956, 2009.

KUMAR, S.; KUMARIA, S.; SHARMA, S.K.; RAO, S.R.; TANDON, P. Genetic diversity assessment of *Jatropha curcas* L. germplasm from Northeast India. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 7, p. 3063-3070, 2011.

LAOSATIT, K.; TANYA, P.; MUAKRONG, N.; SRINIVES, P. Development of interspecific and intergeneric hybrids among *Jatropha*-related species and verification of the hybrids using EST-SSR markers. **Plant Genetic Resources**, v. 12, n. 1, p. 58-61, 2014.

MACHUA, J.; MUTURI, G.; OMONDI, S.F.; GICHERU, J. Genetic diversity of *Jatropha curcas* L. populations in Kenya using RAPD molecular markers: Implication to plantation establishment. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 16, p. 3062-3069, 2011.

MAGHULY, F.; JANKOWICZ-CIESLAK, J.; PABINGER, S.; TILL, B.J.; LAIMER, M. Geographic origin is not supported by the genetic variability found in a large living collection of *Jatropha curcas* with accessions from three continents. **Biotechnology Journal**, v. 10, n. 4, p. 536-551, 2015.

MANTELLO, C.C.; SUZUKI, F.I.; SOUZA, L.M.; GONÇALVES, P.S.; SOUZA, A.P. Microsatellite marker development for the rubber tree (*Hevea brasiliensis*): characterization and cross-amplification in wild *Hevea* species. **BMC Research Notes**, v. 5, p. 1-8, 2012.

MASTAN, S.G.; SUDHEER, P.D.V.N.; RAHMAN, H.; GHOSH, A.; RATHORE, M.S.; PRAKASH, R.; CHIKARA, J. Molecular characterization of intra-population variability of *Jatropha curcas* L. using DNA based molecular markers. **Molecular Biology Reports**, v. 39, n. 4, p. 4383-4390, 2012.

MAT, H.C.; BHUIYAN, M.A.R.; SENAN, S.; YAAKOB, Z.; RATNAM, W. Selection of high yielding *Jatropha curcas* L. accessions for elite hybrid seed production (Pemilihan Aksesori Hasil Tertinggi *Jatropha curcas* L. untuk Penghasilan Benih hibrid elit). **Sains Malaysiana**, v. 44, n. 11, p. 1567-1572, 2015.

MAVUSO, C.; WU, Y.P.; CHEN, F.C.; HUANG, B.H.; LIN, S.J. Genetic diversity analysis of *Jatropha curcas* L. accessions cultivated in Taiwan using inter simple sequence repeats (ISSR) markers. **Agroforestry Systems**, v. 90, n. 3, p. 417-431, 2015.

MONTES, J.M.; TECHNOW, F.; MARTIN, M.; BECKER, K. Genetic diversity in *Jatropha curcas* L. assessed with SSR and SNP markers. **Diversity**, v. 6, n. 3, p. 551-566, 2014.

NIENHUIS, J.; TIVANG, J.; SKROCH, P.; SANTOS, J.B. Genetic relationships among cultivars and landraces of lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) as measured by RAPD markers. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 120, n. 2, p. 300-306, 1995.

OVANDO-MEDINA, I.; SÁNCHEZ-GUTIÉRREZ, A.; ADRIANO-ANAYA, L.; ESPINOSA-GARCÍA, F. Genetic diversity in *Jatropha curcas* populations in the State of Chiapas, Mexico. **Diversity**, 3: 641-659, 2011.

PAIVA NETO, V.B.; BRENHA, J.A.M.; FREITAS, F.B.; ZUFFO, M.C.R.; ALVAREZ, R.C.F. Aspectos da biologia reprodutiva de *Jatropha curcas* L. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 3, p. 558-563, 2010.

PAMIDIAMARRI, D.V.N.; PANDYA, N.; REDDY, M.P.; RADHAKRISHNAN, T. Comparative study of interspecific genetic divergence and phylogenetic analysis of genus *Jatropha* by RAPD and AFLP. **Molecular Biology Reports**, v. 36, n. 5, p. 901-907, 2009.

PARTHIBAN, K.T.; KUMAR, R.S.; THIYAGARAJAN, P.; SUBBULAKSHMI, V.; VENNILA, S.; RAO, G. Hybrid progenies in *Jatropha* - a new development. **Current Science**, v. 96, n. 6, p. 815-823, 2009.

PEAKALL, R.; SMOUSE, P.E. GENALEX 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. **Molecular Ecology Notes**, v. 6, n. 1, p. 288-295, 2006.

PECINA-QUINTERO, V.; ANAYA-LÓPEZ, J.L.; ZAMARRIPA-COLMENERO, A.; NÚÑEZ-COLÍN, C.A.; MONTES-GARCÍA, N.; SOLÍS-BONILLA, J.L.; JIMÉNEZ-BECERRIL, M.F.. Genetic structure of *Jatropha curcas* L. in Mexico and probable centre of origin. **Biomass and Bioenergy**, v. 60, p. 147-155, 2014.

PESSOA, Â.M. dos S. **Fenologia e caracterização morfológica floral, molecular e agrônômica de acessos de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.)**. 2011. 70p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão-SE, 2011.

PIMENTA, A.C.; ZUFFELLATO-RIBAS, K.C.; LAVIOLA, B.G. Morfologia de frutos, sementes e plântulas de *Jatropha curcas*. **Floresta**, v. 44, n. 1, p. 73-80, 2014.

PIOTO, F.; COSTA, R.S.; FRANÇA, S.C.; GAVIOLI, E.A.; BERTONI, B.W.; ZINGARETTI, S.M. Genetic diversity by AFLP analysis within *Jatropha curcas* L. populations in the State of Sao Paulo, Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v. 80, p. 316-320, 2015.

PRASAD, D.M.R.; IZAM, M.D.; KHAN, M.R. *Jatropha curcas*: plant of medical benefits. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 6, n. 14, p. 2691-2699, 2012.

PRATIMA, S.; SINGH, N.M.; SUNDAR, S.S.; AMINUL, I.M.D.; BHUSHAN, T.S. Analysis of genome-wide homozygosity in *Jatropha curcas* accessions using AFLP markers. **Internacional Journal of Research in Pharmacy and Science**, v. 3, n. 2, p. 191-200, 2013.

RAHMAM, M.; AHMAD, S.H.; MOHAMED, M.T.M.; RAHMAM, M.ZA. Antimicrobial compounds from leaf extracts of *Jatropha curcas*, *Psidium guajava*, and *Andrographis paniculata*. **The Scientific World Journal**, p. 1-8, 2014.

RIBEIRO, S.S.; SILVA, T.B.; MORAES, V.R.S.; NOGUEIRA, P.C.L.; COSTA, E.V. Chemical constituents of methanolic extracts of *Jatropha curcas* L and effects on *spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Química Nova**, v. 35, n. 11, p. 2218-2221, 2012.

RICCI, A.; CHEKHOVSKIY, K.; AZHAGUVEL, P.; ALBERTINI, E.; FALCINELLI, M.; SAHA, M. Molecular characterization of *Jatropha curcas* resources and identification of population-specific markers. **BioEnergy Research**, v. 5, n. 1, 215-224, 2012.

ROHLF, F.J. **Numerical taxonomy and multivariate analysis system**. New York. 2001.

ROSADO, T.B.; LAVIOLA, G.B.; FARIA, D.A.; RAPPAS, M.R. Molecular markers reveal limited genetic diversity in a large germplasm collection of the biofuel crop *Jatropha curcas* L. in Brazil. **Crop Science**, v. 50, p. 2372-2382, 2010.

SAKTHIVADIVEL, M.; DANIEL, T. Evaluation of certain insecticidal plants for the control of vector mosquitos viz. *Culex quinquefasciatus*, *Anopheles stephensi* and *Aedes aegypti*. **Applied Entomology Zoology**, v. 43, n. 1, p. 57-63, 2008.

SALVADOR-FIGUEIRÔA, M.; MAGAÑA-RAMOS, J.; VÁZQUEZ-OVANDO, J.A.; ADRIANO-ANAYA, OVANDO-MEDINA, I. Genetic diversity and structure of *Jatropha curcas* L. in its centre of origin. **Plant Genetic Resources**, v. 3, n. 1, p. 9-7, 2015.

SANTANA, U.A.; CARVALHO, J.L.L.S.; BLANK, A.F.; SILVA-MANN, R. Capacidade combinatória e parâmetros genéticos de genótipos de pinhão-manso quanto à caracteres morfoagronômicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 11, p. 1449-1456, 2013.

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

SEMAGN, K.; BJORNSTAD, A.; NDJIONDJOP, M.N. An overview of molecular marker methods for plants. **African Journal of Biotechnology**, v. 5, n. 25, p. 2540-2568, 2006.

SENTIL KUMAR R.; PARTHIBAN, K.T.; RAO, M.G. Molecular characterization of *Jatropha* genetics through inter-single sequence repeat (ISSR) markers. **Molecular Biology Reports**, v. 36, p. 1951-1956, 2009.

SINGH, P.; SINGH, S.; MISHRA, S.P.; BATHIA, S.K. Molecular characterization of genetic diversity in *Jatropha curcas* L. **Genes, Genomes and Genomics**, v. 4, n. 1, p. 1-8, 2010.

SOONTHORNYATARA, S; SRIPICHITT, P.; KAVEETA, R.; HONGTRAKUL, V. Assessment of genetic diversity of *Jatropha curcas* L. using AFLP and ISSR markers. **Chiang Mai Journal of Science**, v. 42, n. 3, p. 614-625, 2015.

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.

SUNIL, N.; SUJATHA, M.; KUMAR, V.; VANAJA, M.; BASHA, S.D.; VARAPRASAD, K.S. Correlating the phenotypic and molecular diversity in *Jatropha curcas* L. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 3, p. 1085-1096, 2011.

TANYA, P.; TAEPRAYOON, P.; HADKAM, Y.; SRINIVES, P. Genetic diversity among *Jatropha* and *Jatropha*-related species based on ISSR markers. **Plant Molecular Biology Reporter**, v. 29, p. 252-264, 2011.

TAR, M.M.; TANYA, P.; SRINIVES, P. Heterosis of agronomic characters in *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.). **Kasetsart Journal (Natural Science)**, v. 45, p. 583-593, 2011.

TREBBI, D.; PAPAZOGLIOUB, E.G.; SAADAOU, E.; VISCH, M.; BALDINI, M.; STEVANATO, P.; CETTUL, E.; SANZONE, A.P.; GUALDI, L.; FABBRI, A. Assessment of genetic diversity in different accessions of *Jatropha curcas*. **Industrial Crops and Products**, v. 75, p. 35-39, 2015.

TRIPATHI, Y.K.; GURHA, P.; GHOSH, D.; KUMAR, R.V. Determination of phylogenetic relationship among isoetes species using random primers. **Turkish Journal of Botany**, v. 31, p. 1-6, 2007.

VERMA, K.C.; SINGH, U.S.; VERMA, S.K.; GAUR, A.K. Molecular profiling of *Jatropha curcas* L. collected from different geographical locations of India. **International Journal of Ambient Energy**, v. 37, n. 1, p. 20-23, 2013.

VIDAL, A.M.; VIEIRA, L.J.; FERREIRA, C.F.; SOUZA, F.V.D.; SOUZA, A.S.; LEDO, C.A.S. Genetic fidelity and variability of micropropagated cassava plants (*Manihot esculenta* Crantz) evaluated using ISSR markers. **Genetec and Molecular Resources**, v. 14, n. 3, p. 7759-7770, 2015.

WANG, X.R.; DING, G.J. Reproductive biology characteristic of *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae). **Revista de Biologia Tropical**, v. 60, n. 4, p. 1525-1533, 2012.

6. ARTIGO 3

DESCRITORES MORFOAGRONÔMICOS E PRODUÇÃO DE HÍBRIDOS DE *Jatropha curcas* L. EM DUAS ÉPOCAS DE PLANTIO

RESUMO

Novas variedades de plantas são necessárias para promover a associação de características morfo-agronômicas para o melhoramento de plantas não estabelecidas que exijam o exame de distinção, homogeneidade e estabilidade (DHE), visando a obtenção de descritores harmonizados de cultivares. *Jatropha curcas* L. surge como cultura potencial devido ao rendimento de óleo, baixo custo de produção e tolerância ao estresse hídrico. O estudo teve por objetivo avaliar a morfometria de sementes e frutos e a produção de híbridos de *Jatropha curcas* L. em dois anos agrícolas (2016 e 2017). Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, no esquema fatorial 2x10 (2 anos x 10 híbridos), disposto em parcela subdividida no tempo, com 3 repetições, sendo utilizados 25 frutos e 100 sementes para cada repetição. Estimou-se os parâmetros genéticos, a contribuição relativa dos caracteres e o desdobramento das correlações entre os caracteres morfométricos pela análise de trilha. Observou-se diferença significativa entre híbridos para os caracteres biométricos e de produção avaliados. Os valores de herdabilidade (h^2) no sentido amplo foram relativamente altos para a maioria dos caracteres morfoagronômicos avaliados, tanto nos frutos quanto nas sementes. Os maiores valores foram observados para comprimento (92,50) e largura (93,24). Em relação à produção de sementes, destaca-se os híbridos 1x5, 3x13, 4x5, 4x8 e 1x15.

Palavras-chave: Pinhão-manso, produtividade, estimativa de parâmetros genéticos.

ABSTRACT

Title: Morphoagronomical descriptors and the production of *Jatropha curcas* L. hybrids in two planting seasons

New plant varieties are necessary in order to promote the association of morphological and agronomical characteristics in the improvement of non-established plants. These plant varieties require an examination of distinction, homogeneity and stability (DHS), in order to obtain harmonized descriptors of the cultivars. The *Jatropha curcas* L. species appears to be such a potential crop, due to its high oil yield, low production costs and water stress tolerances. The objective of this study was to evaluate the morphometrics of the seeds and fruits and the production of *Jatropha curcas* L. hybrids during two agricultural years (2016 and 2017). The genetic parameters, the relative contribution of their characteristics, as well as the unfolding of the correlations among the morphometrical characters by track analyzes, were all estimated. Significant differences were observed between the hybrids in their evaluated biometric and production characteristics. Their heritability values (H^2), in a broad sense, were relatively high for most of the evaluated morphoagronomical characters, both in their fruits and in their seeds. The highest values were observed for their lengths (92.50) and widths (93.24). In relation to the production of the seeds, the 1x5, 3x13, 4x5, 4x8 and 1x15 hybrids stood out.

Keywords: *Jatropha*, seed production, fruit morphology, estimation of genetic parameters.

6.1 Introdução

Jatropha curcas L. é uma espécie nativa perene útil para bioengenharia do solo (PETRONE e PRETI, 2008), fitorremediação de solos contaminados com mercúrio (MARRUGO-NEGRETE et al., 2015) e como cultura promissora para a produção de biodiesel e coprodutos de valor agregado (MAKKAR e BECKER, 2009).

A cultura é indicada como potencial por sua facilidade em se adaptar às mudanças climáticas (TRABUCCO et al., 2010). O grande desafio é superar o período de pré-melhoramento para uso efetivo de recursos genéticos vegetais. O foco de novas perspectivas para novas variedades de plantas é a associação de características morfo-agronômicas para o melhoramento de plantas não adaptadas, que requerem precisamente o exame de distinção, homogeneidade e estabilidade (DHE), visando descrições de variedades harmonizadas. No Brasil, não há variedades de *Jatropha curcas* L. cultivadas registradas no Ministério da Agricultura de Pecuária e Abastecimento de alimentos para uso comercial, fazendo-se necessário estudos para o desenvolvimento de cultivares e indicações de cultivo.

Plantas de *J. curcas* podem atingir a idade produtiva a partir do segundo ano, característica favorável devido à precocidade de produção. Esta espécie tem sido o foco de estudos devido ao seu potencial como matéria-prima para a produção de biodiesel, podendo ser cultivada sob diferentes condições edafoclimáticas (DUBEY et al., 2016, KUMAR et al., 2017). No entanto, houve uma desaceleração na implantação de lavouras, devido a falta de conhecimentos básicos sobre a cultura, principalmente a falta de sincronismo na maturação de frutos (BRESSAN, 2011).

Estudos envolvendo a análise morfológica de frutos e sementes podem auxiliar no entendimento do processo de germinação, vigor, armazenamento, viabilidade e métodos de propagação das espécies. Além disso, a caracterização morfológica de frutos e sementes fornece subsídios para diferenciar espécies e contribui para a melhoria do conhecimento do processo reprodutivo, auxiliando na produção de mudas (por sementes ou por estaquia), além de ser fundamental para melhor compreensão do processo de estabelecimento da planta em condições naturais (GUERRA et al., 2006).

Considerando-se a importância da espécie para exploração comercial, o trabalho tem por objetivo realizar a caracterização morfoagronômica, estimar os parâmetros genéticos, a produção e a contribuição relativa de caracteres de frutos e sementes de híbridos de *J. curcas* oriundos de cruzamentos dialélicos.

6.2 Material e Métodos

6.2.1 Material vegetal e área de estudo

As sementes foram coletadas de 10 híbridos (1x5, 1x8, 1x13, 3x5, 3x8, 3x13, 4x5, 4x8, 4x13 e 4x15) oriundos de cruzamentos dialélicos entre sete genitores, escolhidos com base em características morfológicas, florais e de diversidade genética por marcadores RAPD (SANTANA et al., 2013).

As plantas foram cultivadas em condições de sequeiro (sem irrigação) sob o delineamento de blocos ao acaso, usando três repetições, com seis plantas por parcela, no espaçamento 2x2 m. Os frutos foram colhidos entre os meses de janeiro a julho, nos anos de 2016 e 2017.

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, com relevo plano a suavemente ondulado, caracterizado pela unidade de paisagem dos Tabuleiros Costeiros (Embrapa, 2013). De acordo com o sistema de classificação de Köppen, o clima da região é do tipo tropical chuvoso, com temperatura média anual de 25,5°C e com precipitação pluviométrica média anual de 1.300 mm.

6.2.2 Morfologia de frutos e sementes

A morfometria de frutos e sementes (comprimento, largura e espessura) foi realizada com paquímetro digital (Modelo ZAAS), com precisão de 0,01 mm. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC), no esquema fatorial 2x10 (2 anos x 10 híbridos), disposto em parcela subdividida no tempo, com 3 repetições, sendo utilizados 25 frutos e 100 sementes para cada repetição. O peso do fruto e a massa de 100 amostras foram obtidos em balança analítica de precisão.

6.2.3 Análise estatística

Os dados foram submetidos a testes de normalidade dos resíduos de Shapiro-Wilk e homocedasticidade das variâncias que indicaram a não necessidade de transformação. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e o agrupamento de médias realizado pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade (FERREIRA, 2008). As análises conjuntas, as análises de parcelas subdivididas, a análise de trilha, a quantificação da contribuição relativa (SINGH, 1981) e as estimativas de parâmetros genéticos, como a herdabilidade (h^2), coeficiente de variação (CV%), correlações fenotípicas e genotípicas foram realizadas utilizando o pacote estatístico Genes (CRUZ, 2014).

A contribuição relativa dos caracteres para a divergência foi avaliada de acordo com Singh (1981), aplicada às estimativas de distância generalizada de Mahalanobis, e pela estimativa dos autovetores associados às variáveis canônicas.

A partir das esperanças dos quadrados médios foram estimados os componentes da variância genética (σ_g^2) e ambiental (σ_e^2) para as principais características avaliadas. Foram também estimados os parâmetros genéticos como coeficientes de herdabilidade (h^2) e a razão CVg/CVe. Essas correlações foram desdobradas, por meio da análise de trilha, em efeitos diretos e indiretos, de acordo com o modelo $Y = p_1 X_1 + p_2 X_2 + \dots + p_n X_n + p_e u$, em que Y é a variável dependente principal produtividade de sementes; X_1, X_2, \dots, X_n são as variáveis independentes explicativas; p_1, p_2, \dots, p_n são os coeficientes da análise de trilha. O coeficiente de determinação foi calculado pela expressão $R^2 = p_1^2 y^2 + p_2^2 y^2 + \dots + p_n^2 y^2$ (WRIGHT, 1921), onde r é o valor do coeficiente de correlação fenotípica das variáveis independentes explicativas.

6.3 Resultados e Discussão

6.3.1 Biometria de frutos

O ápice e a base dos frutos são agudos (1x5; 1x8; 1x13) ou achatados (3x5; 3x8; 4x5; 4x8; 4x13 e 4x15), com endocarpo lenhoso. Os frutos secos apresentaram deiscência, expondo as sementes. Em média, observou-se três sementes por fruto, variando entre duas a quatro sementes. A cor do fruto variou de acordo com o estágio de maturação, sendo classificados em verde (fruto jovem) ao amarelo (coloração intermediária entre amarelo e marrom) e marrom-escuro (maduro) (Figura 6.1).

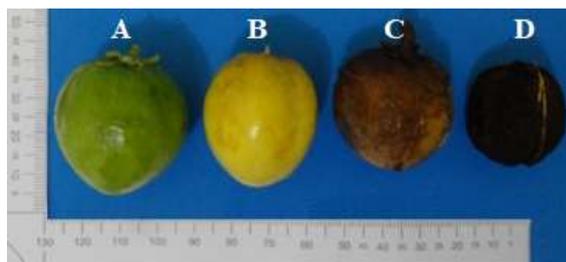


FIGURA 6.1 Cor de frutos de *Jatropha curcas* L., de acordo com o estágio de desenvolvimento: (A) Fruto verde (imaturo); (B) Fruto amarelo (maduro); (C) Fruto de coloração intrermediária entre amarelo e marrom (maduro) e (D) Fruto marrom e seco (maduro). UFS, São Cristóvão-SE, 2018. Fonte: Próprio autor.

Nos dois anos agrícolas avaliados, os valores médios da biometria de frutos variaram entre 23,33 a 25,35 mm para o comprimento; 20,49 a 22,54 mm para largura e de 19,53 a 21,58 mm para espessura. Observou-se variação de 0,55 a 0,91 para peso da casca, de 0,95 a 1,55 para peso de sementes e de 1,51 a 2,36 para peso dos frutos (Tabela 6.1).

TABELA 6.1 Caracterização morfoagronômica de frutos de híbridos de *Jatropha curcas* L. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

Híbrido	CF (mm)	LF (mm)	EF (mm)	PC (g)	PS (g)	PF (g)
.....2016.....						
1x5	23,75 b	20,72 b	19,62 b	0,81 a	1,11 a	1,95 a
1x8	23,90 b	20,49 b	19,63 b	0,91 a	1,13 a	2,04 a
1x13	24,94 a	21,60 a	20,59 a	0,83 a	1,04 a	1,91 a
3x5	24,89 a	22,54 a	21,58 a	0,56 c	0,95 a	1,51 c
3x8	23,83 b	20,69 b	19,90 b	0,76 a	1,07 a	1,84 a
3x13	23,96 b	20,60 b	19,77 b	0,80 a	1,13 a	1,91 a
4x5	24,12 b	21,82 a	21,03 a	0,73 b	1,11 a	1,85 a
4x8	23,85 b	20,58 b	19,53 b	0,77 a	0,99 a	1,74 b
4x13	23,58 b	20,82 b	20,06 b	0,69 b	1,06 a	1,75 b
4x15	25,11 a	21,54 a	21,03 a	0,70 b	1,09 a	1,79 b
CV (%)	2,79	3,78	4,06	13,04	6,65	6,40
.....2017.....						
1x5	24,39 a	21,73 a	21,16 a	0,79 a	1,55 a	2,36 a
1x8	25,35 a	22,07 a	21,36 a	0,76 a	1,53 a	2,29 a
1x13	24,50 a	22,21 a	21,47 a	0,67 b	1,50 a	2,18 a
3x5	25,09 a	22,14 a	21,22 a	0,55 c	1,34 b	1,88 c
3x8	24,97 a	21,85 a	21,39 a	0,69 b	1,44 b	2,13 b
3x13	24,35 a	21,51 a	20,90 a	0,73 a	1,53 a	2,27 a
4x5	24,35 a	22,12 a	21,51 a	0,69 b	1,48 a	2,17 a
4x8	24,20 a	21,11 a	20,17 a	0,69 b	1,44 b	2,13 b
4x13	23,33 b	21,08 a	20,58 a	0,66 b	1,36 b	2,02 b
4x15	24,88 a	22,01 a	21,31 a	0,64 b	1,43 b	2,07 b
CV (%)	2,50	3,75	3,50	5,46	8,49	5,30

Médias seguidas de mesma letra na coluna pertencem a um mesmo grupo de acordo com o critério de agrupamento de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Legenda: CF = Comprimento do fruto; LF = Largura do fruto; EF = Espessura do fruto; PC = Peso da casca do fruto; PS = Peso das sementes; PF = Peso dos frutos.

Na Tabela 6.2 observa-se valores elevados de herdabilidade, variando entre 36,13 a 96,35, com destaque para os caracteres peso da casca, peso de sementes no fruto e peso do fruto. Alta herdabilidade contribui para o sucesso da seleção de genótipos superiores, devido a possibilidade de transmissão de características de interesse, indicando a eficiência da seleção fenotípica (LIRA et al., 2017).

Houve efeito significativo entre os híbridos para os caracteres avaliados nos dois anos de produção. No entanto, não houve diferença na interação anos x híbridos, indicando que os híbridos, quando analisados conjuntamente, não foram afetados por diferentes anos agrícolas (Tabela 6.2).

TABELA 6.2 Médias e parâmetros genéticos de componentes relacionados à biometria e peso de frutos de dez híbridos de *Jatropha curcas* L. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

Característica ⁽¹⁾	Média	Parâmetros genéticos			
		σ_g^2	σ_e^2	σ_f^2	h^2
.....Ano 2016.....					
CF	24,25	0,29	0,07	0,36	79,96
LF	21,14	0,40	0,08	0,47	84,09
EF	20,27	0,42	0,12	0,53	77,71
PC	0,76	0,01	0,00	0,00	91,26
PS	1,07	0,00	0,00	0,00	63,33
PF	1,83	0,02	0,00	0,02	91,52
.....Ano 2017.....					
CF	24,53	0,28	0,02	0,30	92,60
LF	21,79	0,15	0,02	0,17	87,69
EF	21,11	0,08	0,05	0,13	62,11
PC	0,69	0,00	0,00	0,00	88,27
PS	1,46	0,00	0,00	0,01	36,13
PF	2,15	0,02	0,00	0,02	90,32
.....Média dos anos 2016/2017.....					
CF ^{ns}	24,38	0,17	0,16	0,11	69,19
LF ^{ns}	21,46	0,17	0,16	0,10	69,28
EF ^{ns}	20,69	0,13	0,18	0,13	54,48
PC ^{ns}	0,72	0,01	0,00	0,00	90,14
PS ^{ns}	1,26	0,00	0,01	-0,00	71,77
PF ^{ns}	1,99	0,02	0,001	-0,00	96,35

⁽¹⁾CF = Comprimento do fruto; LF = Largura do fruto; EF = Espessura do fruto; PC = Peso da casca; PS = Peso de sementes; PF = Peso do fruto. QMR = quadrado médio do resíduo; QMT = quadrado médio de tratamento; σ_g^2 = variância genotípica; σ_e^2 = variância ambiental; σ_f^2 = variância fenotípica; h^2 = herdabilidade. ^{ns}Interações (ano x híbrido) não significativas.

Baseado na matriz de distância Mahalanobis, usando os caracteres morfoagronômicos apresentados na Tabela 6.2, observou-se o agrupamento dos híbridos em dois grupos. O grupo I consiste em nove híbridos (1x5; 1x8; 1x13; 3x8; 3x13; 4x5; 4x8; 4x13 e 4x15). No grupo II está incluído o híbrido 3x5 (Figura 6.2).

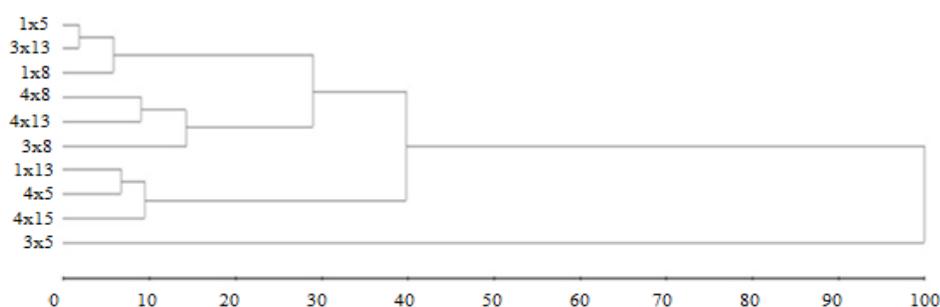


FIGURA 6.2 Dendrograma representativo da dissimilaridade genética entre dez híbridos de *Jatropha curcas* L., usando a distância generalizada de Mahalanobis (D^2) e o método de agrupamento UPGMA, considerando a análise conjunta dos caracteres biométricos e de massa de frutos. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

O híbrido 3x5 (grupo II), apresentou os menores valores relacionados ao peso do fruto. Esta dissimilaridade deve-se provavelmente ao caráter peso do fruto, uma vez que, o caráter morfológico que apresentou maior contribuição para a divergência entre os híbridos foi o peso dos frutos (39,11%) para divergência total, seguido pelas variáveis largura (27,84%) e espessura (16,25%) dos frutos (Tabela 6.3).

TABELA 6.3 Contribuição relativa de caracteres morfológicos de frutos para a dissimilaridade genética de 10 híbridos de *Jatropha curcas* L., pelo método proposto por Singh (1981). UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

Variável*	S.j	Valor em %
CF	120,83	5,88
LF	571,57	27,84
EF	333,70	16,25
PC	139,32	6,79
OS	84,85	4,13
PF	803,09	39,11

Legenda: CF = Comprimento do fruto; LF = Largura do fruto; EF = Espessura do fruto; PC = Peso da casca do fruto; PS = Peso das sementes; PF = Peso dos frutos. *Sugestão de variável para descarte: PS. S.j = Contribuição da variável x para o valor da distância de Mahalanobis entre os híbridos i e i'.

A distância multivariada de Mahalanobis (D₂) permite quantificar a importância relativa dos caracteres para a diversidade genética e a sua contribuição para os valores de D₂ (BENITEZ et al., 2011).

A importância relativa das variáveis canônicas foi estimada pelas variâncias relacionadas ao total dos autovalores. Pelos valores, pode-se inferir que as duas primeiras variáveis canônicas corresponderam a 96,81 % da variação observada (Tabela 6.4).

TABELA 6.4 Variâncias, variâncias percentuais e acumuladas das variáveis canônicas obtidas de 10 híbridos de *Jatropha curcas* L. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

Variáveis Canônicas	Variância		
	Autovalores	Percentual	Percentual Acumulado
1	32,46	77,95	77,95
2	7,85	18,86	96,81
3	1,12	2,69	99,50
4	0,17	0,41	99,91
5	0,04	0,09	99,99
6	0,00	0,01	100,00

É importante ressaltar que em programas de melhoramento genético, a escolha de indivíduos de mesmo padrão de dissimilaridade nos cruzamentos deve ser evitada, a fim de não restringir a variabilidade genética e evitar efeitos negativos nos ganhos obtidos durante a seleção (CRUZ e REGAZZI, 2004).

6.3.2 Caracterização e biometria das sementes

Quanto à biometria e produção das sementes, observou-se diferença ($P < 0,05$) entre os híbridos (Tabela 6.5).

TABELA 6.5 Caracterização morfoagronômica de sementes híbridas de *Jatropha curcas* L. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

Híbrido	CS (mm)	LS (mm)	ES (mm)	PT (g)	PA (g)	PS (g)	M100	g planta ⁻¹ ano ⁻¹
2016								
1x5	19,12 a	11,80 a	8,80 a	0,25 a	0,28 a	0,52 a	51,49 d	263,81 a
1x8	18,47 b	11,32 b	8,52 a	0,28 a	0,27 a	0,54 a	53,83 c	154,26 c
1x13	17,98 c	11,17 b	8,13 a	0,29 a	0,24 a	0,53 a	52,49 c	71,44 e
3x5	18,30 b	11,25 b	8,45 a	0,27 a	0,22 b	0,48 b	50,09 d	111,49 d
3x8	18,33 b	11,27 a	8,57 a	0,28 a	0,28 a	0,56 a	55,38 b	35,70 f
3x13	17,51 c	10,97 b	8,59 a	0,27 a	0,14 c	0,42 b	44,35 e	226,25 b
4x5	17,80 c	11,20 b	8,44 a	0,28 a	0,32 a	0,60 a	59,06 a	149,65 c
4x8	17,87 c	11,23 b	8,42 a	0,28 a	0,27 a	0,55 a	55,48 b	209,04 b
4x13	17,17 c	10,90 b	8,23 a	0,27 a	0,23 b	0,49 b	50,23 d	121,88 d
4x15	18,01 c	11,18 b	8,39 a	0,26 a	0,29 a	0,54 a	53,50 c	158,24 c
CV (%)	2,71	2,68	2,29	8,79	19,07	10,75	1,84	11,10
2017								
1x5	17,20 b	10,96 a	8,16 a	0,26 a	0,20 b	0,46 c	46,38 d	159,29 b
1x8	17,50 a	11,14 a	8,41 a	0,26 a	0,12 c	0,38 c	48,16 d	116,72 c
1x13	18,01 a	11,21 a	8,20 a	0,28 a	0,25 a	0,52 b	51,92 c	124,23 c
3x5	17,41 a	10,92 a	8,10 a	0,26 a	0,17 c	0,43 c	44,76 e	95,09 c
3x8	17,47 a	11,14 a	8,23 a	0,26 a	0,32 a	0,58 a	57,94 b	38,82 d
3x13	16,88 b	10,75 a	7,75 b	0,24 a	0,22 b	0,46 c	46,51 d	185,48 a
4x5	17,85 a	11,21 a	8,32 a	0,28 a	0,34 a	0,62 a	61,91 a	158,22 b
4x8	17,86 a	11,03 a	8,39 a	0,28 a	0,20 b	0,48 c	48,82 d	158,22 b
4x13	16,79 b	10,85 a	8,07 a	0,24 a	0,20 b	0,44 c	44,30 e	188,12 c
4x15	17,43 a	10,99 a	8,10 a	0,25 a	0,24 b	0,49 c	49,71 d	148,37 b
CV (%)	2,92	2,65	3,20	9,58	20,60	10,75	1,93	12,23

Médias seguidas de mesma letra na coluna pertencem a um mesmo grupo de acordo com o critério de agrupamento de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Legenda: CS = Comprimento da semente; LS = Largura da semente; ES = Espessura da semente; PT = Peso do tegumento; PA = Peso por amêndoa; PS = Peso por sementes; M100 = Massa de 100 sementes; kg ha⁻¹ ano⁻¹.

As sementes dos híbridos de *J. curcas* são endospermáticas, com forma oval, dorso convexo, envoltório preto, com ou sem estrias abaxiais. Apresentam rafe pouco evidente e presença de carúncula, situada próxima à micrópila, presa na parte ventral. A parte interna das sementes é composta por um endosperma tenro branco. Os embriões possuem dois cotilédones foliáceos, largos e pouco espessos, com eixo embrionário pesando em média 0,03 g. Os cotilédones foliáceos funcionam temporariamente como órgãos de reserva, sendo esta particularidade encontrada no albúmen ou endosperma, ao redor do embrião. Os cotilédones possuem formato ovalado, com nervação marcada e eixo hipocótilo-radícula cilíndrico e reto.

Para os caracteres comprimento, largura e espessura e produção nos dois anos avaliados. Em 2016, o comprimento das sementes variou de 17,17 a 19,12 mm. A largura de sementes variou de 10,90 a 11,80 mm. A espessura variou de 8,13 a 8,80 mm. Houve diferença significativa para massa de 100 sementes, com valores entre 44,35 e 59,06 g. A produção de sementes por planta variou de 38,82 (3x8) a 263,81 g planta⁻¹ ano⁻¹ (1x5). No ano de 2017, houve diferença significativa para comprimento de sementes (variou de 17,20 a 18,01 mm), largura de sementes (variou de 10,75 a 11,21 mm), espessura (variou de 7,75 a 8,41 mm). Houve diferença significativa para massa de 100 sementes, com valores entre 44,35 e 59,06 g. A produção de sementes por planta variou de 38,82 (3x8) a 159,29 g planta⁻¹ ano⁻¹ (1x5).

Ao realizar a estimativa média dos valores de produção dos anos 2016 e 2017, verificou-se diferença significativa entre os híbridos avaliados, com destaque para os híbridos 1x5 (211,56 g planta⁻¹ ano⁻¹), 3x13 (205,87 g planta⁻¹ ano⁻¹), 4x5 (153,94 g planta⁻¹ ano⁻¹), 4x8 (198,58 g planta⁻¹ ano⁻¹) e 4x15 (153,30 g planta⁻¹ ano⁻¹) (Tabela 6.6).

TABELA 6.6 Estimativa média dos valores morfométricos e de produção de sementes híbridas de *Jatropha curcas* L. em dois anos agrícolas. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

Híbrido	CS (mm)	LS (mm)	ES (mm)	PT (g)	PA (g)	PS (g)	M100	g planta ⁻¹ ano ⁻¹
.....Média dos anos 2016/2017.....								
1x5	18,16 a	11,38 a	8,48 a	0,26 b	0,24 c	0,49 b	48,94 d	211,56 a
1x8	17,98 a	11,23 a	8,46 a	0,27 a	0,19 c	0,45 c	51,00 c	135,49 c
1x13	18,00 a	11,19 a	8,17 b	0,28 a	0,27 b	0,55 a	52,21 c	97,84 d
3x5	17,85 a	11,09 b	8,27 b	0,26 b	0,19 c	0,45 c	47,43	103,29 d
3x8	17,90 a	11,43 a	8,40 a	0,27 a	0,30 a	0,57 a	56,66	37,26 e
3x13	17,20 b	10,86 b	8,17 b	0,26 b	0,18 c	0,44 c	45,43	205,87 a
4x5	17,83 a	11,21 a	8,38 a	0,28 a	0,33 a	0,61 a	60,49	153,94 b
4x8	17,87 a	11,12 b	8,40 a	0,28 a	0,22 c	0,50 b	52,12	198,58 a
4x13	16,98 b	10,88 b	8,15 b	0,25 b	0,22 c	0,46 c	47,26	111,93 d
4x15	17,72 a	11,08 b	8,24 b	0,25 b	0,26 b	0,51 b	51,61	153,30 b
CV (%)	2,82	2,67	2,81	9,22	19,89	10,75	1,89	11,67

Médias seguidas de mesma letra na coluna pertencem a um mesmo grupo de acordo com o critério de agrupamento de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Legenda: CS = Comprimento da semente; LS = Largura da semente; ES = Espessura da semente; PT = Peso do tegumento; PA = Peso por amêndoa; PS = Peso por sementes; M100 = Massa de 100 sementes; kg ha⁻¹ ano⁻¹.

Estes dados são inferiores ao potencial de rendimento de *J. curcas* no Brasil (5 t ha⁻¹ de grãos, o que corresponde a 1,9 t ha⁻¹ de óleo) (TOMINANGA et al., 2007). Porém, deve-se ressaltar que os híbridos estudados ainda estão sendo avaliados para a seleção e futuros trabalhos, nos quais poderá se reunir características interessantes e heterose estão cultivados sem irrigação e que rendimentos próximos ao potencial máximo da espécie são observados em áreas irrigadas (DRUMOND et al., 2010).

No entanto, alguns estudos realizados no Brasil com o cultivo de *J. curcas* sob sistema irrigado (EVANGELISTA et al., 2011; HORSCHUTZ et al., 2012) reportam valores de produção de sementes similares ou inferiores aos obtidos neste trabalho.

O coeficiente de variação apresentou magnitude semelhante ou inferior às reportadas em outros estudos sobre produtividade de sementes de *J. curcas* (LAVIOLA et al., 2011; AROLU et al., 2015). As análises de variância indicam que os efeitos das famílias e dos anos agrícolas são significativos para o rendimento das sementes. Em contraste, o efeito da interação família *versus* ano não é significativo, indicando que as famílias mantem seu desempenho relativo ao longo do tempo e que os fatores avaliados (famílias e anos) podem ser interpretados separadamente. Mesmo em um único ambiente, observa-se uma grande variação de rendimento (SPINELLI et al., 2014).

A produção de sementes por planta para os híbridos mais produtivos, considerando a média de 2016 e 2017, foi de 211,56 g (1x5), 205,87 g (3x13), 153,94 g (4x5), 198,58 g (4x8) e 153,30 g (4x15). Os maiores rendimentos ocorreram nos híbridos 3x13 (226,25 g em 2016; 185,48 g em 2017) e 4x8 (209,04 g em 2016; 158,22 g em 2017).

Os resultados são inferiores aos observados em experimento realizado no estado de Minas Gerais, Brasil, com espaçamentos constituídos por fileiras formados por duas linhas de plantas de pinhão manso, espaçadas em dois metros. O espaçamento entre fileiras variou de 8 a 12 metros. A produção de sementes por planta observada neste estudo variou de 270 a 630 g (MÜLLER et al., 2015).

Resultados semelhantes foram observados nos acessos introduzidos na Tunísia, Brasil, Suriname, Moçambique e Tanzânia, com valores de 8 a 467 g por planta (SAADAOU et al., 2015). A produção de sementes aumentou com o maior espaçamento entre as fileiras e o espaçamento entre plantas (RASTREE, 2004).

Nos híbridos 3x13 e 4x13 observaram-se menores valores médios para as características biométricas avaliadas. Porém, não se observou diferença ($P < 0,05$) entre os híbridos para a variável massa de 100 sementes. Os valores médios observados neste caráter foram inferiores

aos obtidos por Santana et al. (2013) para sementes destes híbridos de *J. curcas*, colhidas entre os meses de janeiro a outubro de 2012.

O híbrido 3x8 apresentou baixo rendimento ($37,26 \text{ g ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) nos dois anos avaliados. Este resultado deve-se, provavelmente, à baixa adaptabilidade deste híbrido às condições edafoclimáticas do local de estudo.

Os valores médios de biometria em sementes foram semelhantes aos obtidos por Pessoa (2011), que analisou os genitores dos híbridos aqui estudados. Christro et al. (2012) e Pimenta et al. (2014) analisaram as mesmas variáveis de sementes de *J. curcas* de acessos oriundos de bancos de germoplasma de diferentes regiões do Brasil, para os quais foram obtidos resultados abaixo dos observados no presente trabalho para os dois anos avaliados.

Para a biometria e produção de sementes observou-se efeitos significativos ($P < 0,01$) para o comprimento, espessura, peso de amêndoa, peso de 100 sementes e rendimento (Tabela 6.7). Porém, observou-se que o peso de tegumento apresentou valor negativo de herdabilidade. Esses valores geralmente ocorrem quando se estima um componente de variância de pequena magnitude. Porém, embora a estimativa negativa não tenha significado, ela deve ser reportada para que o acúmulo de informações contribua para a obtenção de estimativas que se aproximem do valor real (BORÉM e MIRANDA, 2013).

TABELA 6.7 Médias e parâmetros genéticos de componentes ligados à biometria e peso de sementes híbridas de *Jatropha curcas* L. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

Caráter ⁽¹⁾	Média	Parâmetro genético			
		σ_g^2	σ_e^2	σ_f^2	h^2
.....2016.....					
CS	18,06	0,28	0,02	0,30	93,93
LS	11,27	0,05	0,03	0,07	61,00
ES	8,45	0,03	0,01	0,03	72,52
PT	0,27	0,00	0,00	0,00	0,01
PA	0,23	0,00	0,00	0,00	73,34
PS	0,52	0,00	0,00	0,00	67,12
P100	52,59	15,69	0,03	15,71	99,89
PR	375,45	29709,72	742,97	30452,69	97,56
.....2017.....					
CS	17,44	0,11	0,05	0,16	68,54
LS	11,02	0,02	0,00	0,02	71,77
ES	8,17	0,02	0,02	0,04	58,09
PT	0,26	0,00	0,00	0,00	64,63
PA	0,23	0,00	0,00	0,00	81,98
PS	0,49	0,00	0,00	0,01	87,90
P100	50,04	32,88	0,30	33,19	99,09
PR	329,08	12956,65	201,85	13158,50	98,47
.....2016/2017.....					
CS**	17,75	0,05	0,07	0,15	34,71
LS ^{ns}	11,15	0,02	0,03	0,02	45,31
ES**	8,31	-0,00	0,00	0,03	-15,51
PT ^{ns}	0,27	0,00	0,00	-0,00	58,53
PA**	0,24	0,00	0,00	0,00	62,24
PS ^{ns}	0,50	0,00	0,00	0,01	76,27
P100**	51,32	16,91	3,89	7,23	81,79
PR**	352,27	16727,00	5319,11	4514,79	86,82

⁽¹⁾CS = Comprimento da semente; LS = Largura da semente; ES = Espessura da semente; PT = Peso do tegumento; PA = Peso da amêndoa; PS = Peso da semente; PR = Produção de sementes (kg ha^{-1}); σ_g^2 = variância genotípica; σ_e^2 = variância ambiental; σ_f^2 = variância fenotípica; h^2 = herdabilidade. ^{ns}Interações (ano x híbrido) não significativas. ** e * interações significativas a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente pelo teste F.

De 2016 para 2017 houve um decréscimo na produção dos híbridos 1x5 (39,62%), 1x8 (24,34%), 3x5 (14,71%), 3x13 (18,02%), 4x8 (24,31%) e 4x15 (6,24%). Entretanto, obteve-se um incremento de produção dos híbridos 1x13 (42,49%), 3x8 (8,06%), 4x5 (5,42%) e 4x13

(35,21%). As condições ambientais como temperatura, precipitação e umidade, em combinação com fatores genéticos e fisiológicos, determinam o potencial da planta para produtividade de sementes e rendimento de óleo, podendo a produção variar consideravelmente (MISHRA, 2009). Em um estudo com acessos de *J. curcas* da China, Índia, Índia e África, observaram-se grandes variações na produção de sementes, mesmo usando as mesmas práticas agrônomicas e condições climáticas, com uma falta de uniformidade dentro da população (YI et al., 2014).

Altos valores de herdabilidade foram obtidos para peso por semente (76,27), peso de 100 sementes (81,79) e produção (86,82). As estimativas de parâmetros genéticos de 113 acessos clonais de *J. curcas* oriundos da China, revelaram alto valor de herdabilidade (98,05) para caráter peso de 100 sementes (TRIPATHI et al., 2013). As estratégias de melhoramento vegetal dependem da variabilidade na população base e a herdabilidade está relacionada à eficácia da seleção de genótipos baseada no desempenho fenotípico.

Os dados de herdabilidade (h^2) no sentido amplo foram relativamente altos para a maioria dos caracteres avaliados, com valores acima de 70% (Tabela 6.8). Os maiores valores foram observados para comprimento (92,50) e largura (93,24), superiores aos valores obtidos por Christo et al. (2014) para os mesmos caracteres (87,73 e 81,37), em sementes de genótipos oriundos do banco de germoplasma da Embrapa Agroenergia, localizada em Brasília, Brasil. Os valores de herdabilidade para teor de óleo e massa de 100 sementes foram inferiores aos relatados por Rao et al. (2008), que obtiveram valores médios de 99,61 para o teor de óleo e 93,16% para a massa de 100 sementes; e por Kaushik et al. (2015), com valores de 95,49% para teor de óleo e 87,75% para massa de 100 sementes.

O ganho de seleção em programas de melhoramento é determinado pela magnitude e natureza da variação genotípica e fenotípica entre diferentes caracteres. Neste sentido, a herdabilidade indica a confiabilidade do fenótipo como base para a seleção de genótipos superiores. Comparativamente, estes resultados são similares aos obtidos por Galapia et al. (2012), que verificaram alta estimativa de herdabilidade para comprimento, largura e espessura de sementes de *J. curcas* cultivado na região de Laguna (Filipinas).

Pelo método de Singh (1981), verificou-se a variabilidade entre os caracteres analisados para quantificação da contribuição relativa de cada variável. De acordo com este método, as características de maior importância expressam maior variabilidade, observando-se desta forma que a produção (47,22%) e o peso de 100 sementes (45,43%) foram as características de maior contribuição para a análise de dissimilaridade, sugerindo-se como variável de descarte o peso do tegumento (0,18%) (Tabela 6.8).

TABELA 6.8 Contribuição relativa de caracteres morfológicos sementes para a dissimilaridade genética de 10 híbridos de *Jatropha curcas* L., pelo método proposto por Singh (1981). UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

Variável*	S _j	Valor em %
CS	153,30	1,57
LS	36,66	0,38
ES	25,66	0,26
PT	17,07	0,18
PA	327,67	0,35
OS	157,99	1,62
P100	4438,33	45,43
PR	4613,11	47,22

Legenda: CS = Comprimento da semente; LS = Largura da semente; ES = Espessura da semente; PT = Peso do tegumento; PA = Peso da amêndoa; PS = Peso da semente; P100 = Peso de cem sementes; PR = Produção de sementes (kg ha⁻¹). *Sugestão de variável para descarte: PS. S_j = Contribuição da variável x para o valor da distância de Mahalanobis entre os híbridos i e i'.

Os resultados obtidos corroboram com os reportados Ngugi et al (2013) para a produção de sementes, com 49 genótipos oriundos do Kenia. Ao realizar a análise de componentes principais de 14 caracteres de 48 acessos oriundos da Malásia, 37,4% da variação total foi

atribuída ao número de sementes, ao rendimento de óleo à produção de sementes (kg ha⁻¹) (SHABANIMOFRAD et al., 2013).

Com isso, a produção e o peso de 100 sementes são as variáveis mais eficientes para explicar a divergência entre os híbridos, devendo ser priorizadas para a seleção de genótipos superiores.

Os valores da análise de variáveis canônicas da matriz de correlação para os caracteres avaliados, revelaram que as duas primeiras variáveis foram suficientes para explicar 90,49% da variação. A primeira variável representa 56,72% da variação, sendo os caracteres com maior contribuição a produção, a espessura e o peso de 100 sementes (Tabela 6.9).

TABELA 6.9 Variâncias, variâncias percentuais e acumulada das variáveis canônicas obtidas de 10 híbridos de *Jatropha curcas* L. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

Variáveis Canônicas	Variância		
	Autovalores	Percentual	Percentual Acumulado
1	4,54	56,72	56,72
2	1,68	21,06	77,77
3	0,85	10,62	88,38
4	0,60	7,47	95,86
5	0,28	3,51	99,37
6	0,04	0,51	99,88
7	0,01	0,12	99,99
8	0,00	0,00	100,00

A necessidade de avaliação da importância relativa dos caracteres deve-se à possibilidade de se descartar características que pouco contribuem para a discriminação dos híbridos, reduzindo, dessa forma, mão de obra, tempo e custo despendidos na experimentação (ALVES et al., 2003). Além disso, os parâmetros genéticos e herdabilidade de caracteres morfoagronômicos são fundamentais para o processo de seleção de híbridos.

Alta herdabilidade e coeficientes de variação genotípica sugerem que existe alta variação genética entre os híbridos, que pode ser observada na produção de sementes (híbridos 3x8 a 1x5). Tal variação pode está associada às diferentes procedências dos parentais usados nos cruzamentos, que são de diferentes regiões do Brasil (PESSOA et al., 2011; RIBEIRO et al., 2017), sendo importante estimar a heterose dos híbridos comparando-os com os genitores.

Biabani et al. (2012) avaliaram altura de plantas, diâmetro do caule e o número de folhas no estágio de mudas em híbridos obtidos em cruzamentos dialélicos e observaram que a variância foi significativa, exceto quanto a capacidade específica de combinação (CEC), para o número de folhas após 15 dias de plantio. Portanto, pode se inferir que há diferenças genotípicas entre os híbridos e que estimativas dos efeitos de Capacidade Geral de Combinação (CGC) são importantes para se identificar genitor ou grupo de genitores com maior capacidade de combinação.

Santana et al. (2013) avaliaram parâmetros genéticos e a correlação entre caracteres morfológicos em cruzamentos dialélicos para os mesmos híbridos utilizados no presente estudo. Os autores observaram que o genitor 4 destacou-se quanto à concentração de alelos favoráveis dos caracteres produção de sementes, massa de 100 sementes, enquanto que o genitor 5 destacou-se quanto à produção de sementes.

6.3.3 Efeitos diretos e indiretos sobre os ácidos oleico e linoleico

Observou-se que os componentes morfométricos das sementes influenciaram direta ou indiretamente a produção de sementes híbridas de *J. curcas* (Tabela 6.10). Não houve efeito direto positivo dos caracteres largura, peso de tegumento e massa de 100 sementes sobre a produção de sementes.

TABELA 6.10 Estimativas dos efeitos diretos e indiretos dos caracteres comprimento (mm), largura (mm), espessura (mm), peso do tegumento (g), peso da amêndoa (g) e massa de 100 sementes (g) sobre a produção de sementes em híbridos de *Jatropha curcas* L. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

Característica	Efeito direto	Efeito indireto							Efeito total
		COMP	LARG	ESP	PTEG	PAME	PSEM	M100	
COMP	1,05	-	-2,00	1,24	-0,07	0,02	0,41	-0,69	-0,04
LARG	-2,32	0,91	-	1,36	-0,05	0,23	0,55	-0,93	-0,26
ESP	1,74	0,75	-1,81	-	-0,04	-0,02	0,21	-0,65	0,16
PTEG	-0,12	0,56	-0,92	0,50	-	0,27	0,66	-1,10	-0,16
PAME	0,81	0,02	-0,65	-0,10	-0,04	-	0,86	-1,19	-0,29
PSEM	0,99	0,44	-1,29	0,37	-0,09	0,70	-	-1,47	-0,34
M100	-1,58	0,47	-1,37	0,72	-0,09	0,61	0,93	-	-0,31
R ²	0,78	-	-0,08	0,04	0,09	-0,02	0,16	-0,16	-0,21
Efeito Residual	0,48								

COMP = Comprimento de semente (mm); LARG = Largura de semente; ESP = Espessura de semente (mm); PTEG = Peso de tegumento da semente; PAME = Peso da amêndoa; PSEM = Peso da semente; M100 = Massa de 100 sementes (g).

O caráter que apresentou maior influência direta (presença de causa e efeito) sobre a produção de sementes foi a espessura da semente. O único caráter morfométrico que apresentou efeito direto negativo sobre a variável dependente principal foi a largura de sementes. No entanto, a soma dos efeitos diretos e indiretos da espessura de sementes foi superior à soma dos efeitos dos outros caracteres avaliados.

Deve-se ressaltar que os caracteres analisados exerceram efeitos indiretos uns sobre os outros, podendo ser utilizados tanto para a seleção direta quanto para a seleção indireta de genótipos de *J. curcas*, visando a obtenção de incremento de produção.

Ao analisar a magnitude do efeito direto dos caracteres morfoagronômicos sobre a produção de sementes, observou-se que os caracteres morfométricos foram os caracteres mais importantes para a seleção de híbridos com maior produção de sementes. O alto valor observado do coeficiente de determinação indica que 78% da fração representativa da produção de sementes híbridas de *J. curcas* foi explicada pelo efeito das variáveis explicativas, indicando eficiência na decomposição de relações de causa e efeito entre caracteres.

O menor ajuste das variáveis independentes à variabilidade da característica principal, produção de sementes, indica uma adequação de associação entre o componente primário (produção de sementes) e secundários (variáveis morfométricas e de produção).

A quantificação da resposta correlacionada com a prática da seleção é um dos principais benefícios do estudo da associação de características de produção, permitindo utilizar as estimativas dos efeitos diretos e indiretos na confecção de índice de seleção para obtenção de ganhos em produção de sementes de *J. curcas*.

Desta forma, as informações geradas neste trabalho são ferramentas importantes para a seleção de genótipos superiores para uso em futuros programas de melhoramento genético de *J. curcas* e que também poderão ser úteis como descritores visando o registro de cultivares.

6.4 Conclusões

Em relação à produção, destacam-se os híbridos 1x5, 3x13, 4x5, 4x8 e 4x15.

Dentre os parâmetros morfológicos, os caracteres que mais contribuem para a estimativa da diversidade genética dos híbridos são peso do fruto, peso de 100 sementes e produção de sementes.

6.5 Referências Bibliográficas

- ALVES, R.M.; GARCIA, A.A.F.; CRUZ, A.D.; FIGUEIRA, A. (2003) Seleção de descritores botânico-agronômicos para caracterização de germoplasma de cupuaçuzeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 807-818, 2003.
- AROLU, I.W.; RAFII, M.Y.; HANAFI, M.M.; MAHMUD, T.M.M.; ASKANI, S. Genetic divergence and evaluation of yield potential of *Jatropha curcas* accessions collected from Peninsular Malaysia. **Tropical Agricultural Science**, v. 38, n. 1, p. 127-142, 2015.
- BENITEZ, L.C.; RODRIGUES I.C.S.; ARGE, L.W.P.; RIBEIRO, M.V.; BRAGA, E.J.B. Análise multivariada da divergência genética de genótipos de arroz sob estresse salino durante a fase vegetativa. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 409-416, 2011.
- BIABANI, A.; RAFII, M.Y.; SALEH, G.; SHABANIMOFRAD, M.; LATIF, M.A. Combining ability analysis and evaluation of heterosis in *Jatropha curcas* (L). *Australian Journal of Crop Science*, v.6, p.1030-1036, 2012.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G.V. **Melhoramento de plantas**. Viçosa: UFV, 2013. 523 p.
- BRESSAN, E.A. **Variabilidade genética e estimativa da taxa de cruzamento do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) empregando marcadores moleculares**. 2011. 208 f. Tese (Doutorado em Ciências) -, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 2011.
- CHRISTRO, L.F.; AMARAL, J.F.T.; LAVIOLA, B.G.; MARTINS, L.D.; AMARAL, C.F. Biometric analysis of seeds of genotypes of physic nut (*Jatropha curcas* L.). **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 8 n. 1. p. 1-3, 2012.
- CHRISTO, L.F.; COLODETTI, T.V.; RODRIGUES, W.N.; MARTINS, L.D.; BRINATE, S. B.; do AMARAL, J.F.T.; LAVIOLA, B.G.; TOMAZ, M.A. Genetic variability among genotypes of physic nut regarding seed biometry. **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, p. 1416-1422, 2014.
- CRUZ, CD (2014). Programa GENES. Versão 4.1. Viçosa: UFV.
- CRUZ, C. D., REGAZZI. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Editora UFV, 2004. 480 p.
- DRUMOND, M.A.; SANTOS, C.A.F.; de OLIVEIRA, V.R.; MARTINS, J.C.; dos ANJOS, J.B.; EVANGELHISTA, M.R.V. Desempenho agrônômico de genótipos de pinhão-manso no semiárido pernambucano. **Ciência Rural**, v. 40. n. 1. p. 44-47, 2010.
- DUBEY, A.; PANT, A.; DIXIT, S.; DIXIT, G. Preparation of bio-diesel from *Jatropha curcas* oil and tests of its blends with diesel on a CI engine. **Biofuels and Bioenergy**, p. 59-65, 2016.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 3 ed. Brasília: Embrapa. 2013. 353 p.
- EVANGELISTA, A.W.P.; MELO, P.C.; OLIVEIRA, E.L.; FARIA, M.A. Produtividade e rendimento de sementes de pinhão-manso submetido à irrigação e adubação com OMM-Tech. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 2, p. 315-323, 2011.

FERREIRA, D.F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium** (Lavras), v. 6, p. 36-41, 2008.

GALAPIA, G.A.; CARANDANG, W.M.; VALLESTEROS, S.F.; VALLESTEROS, A.P. Heritability of and relationship among selected seed traits of three provenances of *Jatropha curcas* L. **Forest Science and Technology**, v. 8, n. 3, p. 139-144, 2012.

GUERRA, M.E. de C.; MEDEIROS FILHO, S.; GALHÃO, M.I. Morfologia de sementes, de plântulas e da germinação de *Copaifera langsdorfii* Desf. (Leguminosae - Caesalpinioideae). **Cerne**, v. 12, p. 322-328, 2006.

HORSCHUTZ, A.C.O.; TEIXEIRA, M.B.; ALVES, J.M.; SILVA, F.G.; SILVA, N.F. Crescimento e produtividade do pinhão-manso em função do espaçamento e irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 10, p. 1093-1099, 2012.

KAUSHIK, N.; DESWAL, R. P. S.; MALIK, S.; KUMAR, K. Genetic variation and heritability estimation in *Jatropha curcas* L. progenies for seed yield and vegetative traits. **Journal of Applied and Natural Science**, v. 7, n. 2, p. 567-573, 2015.

KUMAR, G.; SINGH, V.; KUMAR, D. Ultrasonic-assisted continuous methanolysis of *Jatropha curcas* oil in the appearance of biodiesel used as an intermediate solvent. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 39, p. 394-391, 2017.

LAVIOLA, B.G.; BHERING, L.L.; MENDONÇA, S.; ROSADO, T.B.; ALBRECHT, J.C. Caracterização morfo-agronômica do banco de germoplasma de pinhao manso na fase jovem. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 3, p. 371-379, 2011.

LIRA, E.G.; AMABILE, R.F.; FAGIOLI, M.; MONTALVÃO, A.P.L. Genetic parameters, phenotypic, genotypic and environmental correlations and genetic variability on sunflower in the Brazilian Savannah. **Ciência Rural**, v. 47, n. 8, p. 1-8, 2017.

MAKKAR, H.P.S.; BECKER, K. *Jatropha curcas*, a promising crop for the generation of biodiesel and value-added coproducts. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 111, 773-787, 2009.

MARRUGO-NEGRETE, J.; DURANGO-HERNÁNDEZ, J.; PINEDO-HERNÁNDEZ, J.; OLIVERO-VERBEL, J.; DÍEZ, S. Phytoremediation of mercury-contaminated soils by *Jatropha curcas*. **Chemosphere**, v. 127, p. 58-63, 2015.

MISHRA, D.K. Selection of candidate plus phenotypes of *Jatropha curcas* L. using method of paired comparisons. **Biomass and Bioenergy**, v. 33, p. 542-545, 2009.

MÜLLER, M.D.; BRIGHENT, A.M.; PACIULLO, D.S.C.; MARTINS, C.E.; ROCHA, D.S.D.; OLIVEIRA, M.H.S. Produção de plantas de pinhão manso em diferentes espaçamentos e tipos de consórcio. **Ciência Rural**, v. 45, n. 7, p. 1167-1173, 2015.

NGUGI, K.; NABISWA, A.; KITHINJI, A.; MUCHUGI, A. Genetic divergence in *Jatropha curcas* L., a potential biofuel crop in Kenya. **Biofuels**, v. 4, n. 3, p. 313-322, 2013.

- PESSOA, A.M.S. **Fenologia e caracterização morfológica floral, molecular e agronômica de acessos de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.)**. 2011. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão-SE. 2011.
- PETRONE, A.; PRETI, F. Suitability of soil bioengineering techniques in Central America: a case study in Nicaragua. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 12, p. 1241-1248, 2008.
- PIMENTA, A. C.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; LAVIOLA, B. G. Morfologia de frutos, sementes e plântulas de *Jatropha curcas* L. **Floresta**, v. 44, n. 1, p. 73-80, 2014.
- RAO, G.R.; KORWAR, G.R.; SHANKER, A.K.; RAMAKRISHMA, Y.S. Genetic associations, variability and diversity in seed characters, growth, reproductive phenology and yield in *Jatropha curcas* (L.) accessions. **Trees**, v. 22, n. 5, p. 697-709, 2008.
- RASTREE, S. A preliminary study on physic nut (*Jatropha curcas* L.) in Thailand. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 7, p. 1620-1623, 2004.
- RIBEIRO, D. O.; SILVA-MANN, R.; ALVARES-CARVALHO, S. V.; SOUZA, E. M. S.; VASCONCELOS, M. C.; BLANK, A. F. Genetic variability in *Jatropha curcas* L. from diallel crossing. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 2, p. 1-13, 2017.
- SAADAOU, E.; MARTÍN, J.J.; BOUAZIZI, R.; ROMDHANE, C.B.; GRIRA, M.; ABDELKABIR, S.; KHOUJA, M.L.; CERVANTE, E. Phenotypic variability and seed yield of *Jatropha curcas* L. introduced to Tunisia. **Acta Botanica Mexicana**, v. 110, p. 119-134, 2015.
- SANTANA, U.A.; CARVALHO, J.L.L.S.; BLANK, A.F.; SILVA-MANN, R. Capacidade combinatória e parâmetros genéticos de genótipos de pinhão-manso quanto à caracteres morfoagronômicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 11, p. 1449-1456, 2013.
- SHABANIMOFRAD, M.; RAFII, M.Y.; WAHABA, P.E.M.; BIABANI, A.R.; LATIF, M.A. Phenotypic, genotypic and genetic divergence found in 48 newly collected Malaysian accessions of *Jatropha curcas* L. **Industrial Crops and Products**, v. 42, p. 543-551, 2013.
- SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **The Indian Journal Genetic and Plant Breeding**, v. 36, p. 237-245, 1981.
- SPINELLI, V.M.; DIAS, L.A.S.; ROCHA, R.B.; RESENDE, M.D.V. Yield performance of half-sib families of physic nut (*Jatropha curcas* L.). **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 14, p. 49-53, 2014.
- TRABUCCO, A.; ACHTEN, W.M.J.; BOWE, C.; AERTS, R.; ORSHOVEN, J.V.; NORRGROVE, L.; MUYS, B. Global mapping of *Jatropha curcas* yield based on response of fitness to present and future climate. **Global Change Biology Bioenergy**, v. 2, p. 139-151, 2010.
- TRIPATHI, A.; MISHRA, D.K.; SHUKLA, J.K. Genetic variability, heritability and genetic advance of growth and yield components of *Jatropha* (*Jatropha curcas* Linn.) genotypes. **Trees**, v. 27, p. 1049-1060, 2013.
- TOMINANGA, N.; KAKIDA, J.; YASUDA, E. K. Cultivo de pinhão-manso para a produção de biodiesel. Viçosa, **CPT**, 2007. 220p.

WRIGHT, S. **Correlation and causation.** *Journal of Agricultural Research*, v. 20, p. 557-585, 1921.

YI, C.; REDDY, C.; VARGHESE, K.; BUI, T.N.H.; ZHANG, S.; KALLATH, M.; KUNJACHEN, B.; RAMACHANDRAN, S.; HONG, Y. A New *Jatropha curcas* variety (JO S2) with improved seed productivity. *Sustainability*, v. 6, p. 4355-4368, 2014.

7. ARTIGO 4 COMPOSIÇÃO QUÍMICA, RENDIMENTO DO ÓLEO E ESTIMATIVA DE PARÂMETROS GENÉTICOS DE SEMENTES DE *Jatropha curcas* L.

RESUMO

Jatropha curcas L. é uma oleaginosa com grande potencial para a produção de biodiesel. Objetivou-se caracterizar as sementes de 10 híbridos de *J. curcas* oriundos de cruzamentos dialélicos para caracteres biométricos e de produção, assim como estimar os efeitos de heterose e heterobletiose nos caracteres avaliados. O experimento foi conduzido sob o delineamento inteiramente casualizado, com 4 repetições de 50 sementes. As sementes dos diferentes híbridos variaram em média de 17,17 a 19,12 mm para o caracter comprimento; 10,90 a 11,80 em relação à largura e de 8,13 a 8,80 mm para espessura. A massa de 100 sementes variou de 50,25 a 55,97 g. Para o teor de óleo nas sementes, observou-se a formação de dois grupos de médias que variaram de 33,27 a 52,2%. Houve diferença significativa para os caracteres comprimento, largura, espessura e teor de óleo. Observou-se herdabilidade acima de 80% para os caracteres avaliados, com exceção da variável massa de 100 sementes. O híbrido 1x5 destacou-se para os caracteres biométricos. O maior teor de óleo foi extraído de sementes do híbrido 3x13. Os ácidos graxos encontrados em maiores quantidades no óleo extraído foram o ácido oleico e o ácido linoleico que variaram de 35,7 a 38,9 e 30,6 a 37,8, respectivamente. Os híbridos 3x13 e 4x5 apresentaram os maiores valores para as estimativas de heterose e heterobeltiose, relacionadas ao rendimento do óleo. Avaliando-se a capacidade de transmissão das características avaliadas, destacam-se os híbridos 1x5 (características biométricas), 3x13 e 4x5 (teor de óleo) em futuros cruzamentos dialélicos.

Palavras-chave: Pinhão-manso, variabilidade genética, morfometria de sementes, teor de óleo, ácidos graxos livres.

ABSTRACT

Title: Chemical composition, oil performance and estimation of genetic parameters of *Jatropha curcas* L. seeds

Jatropha curcas L. is an oleaginous plant with a great potential for biodiesel production. The objective of this study was to characterize the seeds of 10 *J. curcas* hybrids that originated from diallel crosses for their biometric and production characteristics, as well as to estimate the effects of the heteroses and the heterobletioses in the evaluated characters. The experiments were conducted under a completely randomized design, with 4 replicates of 50 seeds. The seeds of the different hybrids ranged from 17.17 mm to 19.12 mm in their length; 10.90 mm to 11.80 mm in their width; and 8.13 mm to 8.80 mm in their thickness. The 100 seed masses ranged from 50.25 g to 55.97 g. For the contents of oil in the seeds, the formation of two groups of averages ranging from 33.27% to 52.2% were observed. There were significant differences in their length, width, thickness and in their oil contents. Their heritability was higher than 80% in the evaluated traits, with an exception of the 100-seed mass variables. The 1x5 hybrids stood out for their biometric characteristics. The highest oil content was extracted from the 3x13 hybrid seeds. The fatty acids that were found in the extracted oils were oleic acid and linoleic acid and they ranged from 35.7 to 38.9 and 30.6 to 37.8, respectively. The 3x13 and 4x5 hybrids presented the highest values for their estimations of heteroses and heterobletioses, when related to their oil content yields. When evaluating the transmission capacities of the evaluated characteristics, the 1x5 hybrid (biometric characteristics) and the 3x13 and 4x5 hybrids (oil contents) were highlighted in their future diallel crosses.

Keywords: *Jatropha*, genetic variability, seed morphometry, oil content, free fatty acids.

7.1 Introdução

Jatropha curcas L. é uma espécie nativa das Américas, utilizada na medicina tradicional e amplamente cultivada em regiões tropicais e subtropicais. As sementes, no entanto, são tóxicas para os seres humanos e para muitos animais (HELLER, 1996). Destaca-se das demais espécies oleaginosas por ser perene, possuir alto conteúdo de óleo de qualidade nas sementes e por apresentar baixo custo de produção. Estima-se que mais de três milhões de hectares de pinhão-mansão já foram implantados, sendo a China, a Índia e o Brasil os maiores produtores (FAIRLESS, 2007).

Apesar de ser uma espécie perene, pode atingir a idade produtiva a partir do segundo ano após o plantio. *J. curcas* tem sido o foco de intensa investigação como matéria-prima para a produção de biodiesel, podendo ser cultivado sob diferentes condições edafoclimáticas.

No entanto, a ação carcinogênica dos ésteres de forbol contidos no óleo de pinhão-mansão levantam preocupações quanto ao risco para a saúde e para o meio ambiente. Estas preocupações podem influenciar negativamente na promoção do pinhão-mansão como combustível. Estudos mostram que a degradação de ésteres de forbol por métodos catalisados alcalinos está correlacionada com os rendimentos de ésteres metílicos de ácidos graxos presentes no óleo de sementes de pinhão-mansão (TOSA e ISHIZUKA, 2017).

Dentre as principais atividades do programa de melhoramento vegetal está a obtenção de variação genética. Esta variação pode ser obtida por domesticação da espécie, coleção de germoplasma, introdução de plantas, polinização cruzada (hibridação), mutação, poliploidia, variação somaclonal, variação germaclonal entre outras técnicas da engenharia genética (MONIRUZZAMAN et al., 2016). Dentre os principais objetivos do melhoramento genético de *J. curcas* estão o incremento do peso, do teor e da qualidade do óleo das sementes (YANG et al., 2010).

O óleo das sementes de *J. curcas* é um produto valioso, uma vez que pode ser convertido em biodiesel, sendo, portanto, o cultivo desta oleaginosa fonte promissora para a produção de biocombustíveis (PARAWIRA, 2010). As propriedades do biodiesel de *J. curcas* são similares

às obtidas em composições de ácidos graxos de biomassa convencionais, embora o teor de óleo seja superior aos relatados para outros óleos vegetais (LEE et al, 2007; ALBASHA et al., 2015).

A quantidade de óleo produzido a partir de sementes e grãos depende do método de extração (mecânico e químico) e a composição de ácidos graxos deste óleo consiste principalmente em ácido oleico, ácido linoleico, ácido esteárico e ácido palmítico (BASILI e FONTINI, 2012).

Considerando-se a importância desta espécie para exploração comercial e que não há no mundo grandes plantios comerciais para exploração do óleo de suas sementes para produção de biodiesel, o trabalho teve por objetivo caracterizar as sementes de híbridos de pinhão-manso oriundos de cruzamentos dialélicos para caracteres morfométricos, de produção, além do rendimento e perfil de ácidos graxos do óleo de sementes de pinhão-manso.

7.2 Material e Métodos

7.2.1 Material vegetal e área de estudo

As sementes foram coletadas de 10 híbridos (1x5, 1x8, 1x13, 3x5, 3x8, 3x13, 4x5, 4x8, 4x13 e 4x15) oriundos de cruzamentos dialélicos entre sete genótipos de pinhão-manso (JCUFS-01, JCUFS-03, JCUFS-04, JCUFS-05, JCUFS-08, JCUFS-13 e JCUFS-15), escolhidos com base na caracterização morfológica e floral e em dados de diversidade genética (SANTANA et al., 2013). As plantas foram cultivadas na Fazenda Experimental do Campus Rural da Universidade Federal de Sergipe, localizada no município de São Cristóvão-SE (10° 55' 26" S e 37° 11' 57" O), em condições de sequeiro, sob o delineamento em blocos inteiramente casualizados, com três repetições. Cada parcela experimental foi constituída por seis plantas, com espaçamento 2 x 2 m, totalizando 24 m².

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, com relevo plano a suavemente ondulado, caracterizado pela unidade de paisagem dos Tabuleiros Costeiros (Embrapa, 2013). De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo tropical chuvoso, com temperatura média anual de 25,5°C e com precipitação pluviométrica média anual de 1300 mm.

7.2.2 Biometria das sementes

A avaliação dos dados morfométricos e da massa de sementes foi realizada com o auxílio do paquímetro digital (Modelo ZAAS) com precisão de 0,01 mm. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, com 10 tratamentos (híbridos) e 4 repetições (50 sementes por repetição). A avaliação dos dados biométricos (comprimento, largura e espessura) foi realizada com o auxílio do paquímetro digital (Modelo ZAAS) com precisão de 0,01 mm e a massa de 100 sementes obtida em balança analítica.

7.2.3 Extração do óleo

O experimento foi conduzido em um delineamento inteiramente casualizado. As sementes foram trituradas e, em seguida, foram pesadas e colocadas 20 g das sementes em um cartucho cilíndrico de celulose.

A extração foi realizada em triplicatas com aparelho tipo Soxhlet, com balão de 250 mL, contendo 150 mL do solvente hexano, aquecido em uma placa (Quimis) a temperatura de 70°C, sob refluxo contínuo por quatro horas até que o mesmo ficasse incolor ao passar pelo sifão do Soxhlet. Após este período deixou-se as amostras por mais 1 hora em refluxo sem contato com o solvente hexano.

Após a extração, o cartucho foi colocado em *becker* deixando por alguns minutos na capela de exaustão para evaporação do excesso de solvente. Em seguida, os cartuchos foram secos em estufa a 105 °C por 1 hora, resfriados em dessecador por 1 hora e pesados. Posteriormente, as amostras foram retiradas do recipiente do extrator, levadas para rotoevaporação e secadas em vidro 70°C até peso constante. Por fim, o conjunto (balão e óleo)

foi pesado e por diferença do peso do recipiente vazio, limpo e seco o valor do teor de óleo foi determinado e expresso em % de óleo.

7.2.4 Derivatização do óleo e determinação do perfil de ácidos graxos

Os processos de derivatização e determinação dos ácidos graxos foram adaptados de acordo com as metodologias sugeridas por ISO 5508 (1999); ISO 5509 (2000); Antolín et al. (2008); Petrovic et al. (2010) e Hayat e Mendhulkar (2016). As análises do óleo extraído foram realizadas utilizando um cromatógrafo gasoso acoplado a um espectrômetro de massas - CG-EM/CG-DIC (GC-2010 Plus; GCMS-QP2010 Ultra, Shimadzu Corporation, Kyoto, Japão) equipado com um amostrador automático AOC-20i (Shimadzu). As separações foram realizadas usando uma coluna capilar de sílica fundida Rtx[®]-5MS Restek (polissiloxano 5 %-difenil-95 %-dimetil) de 30 m x 0,25 mm de diâmetro interno (d.i.), 0,25-mm de espessura de filme, em um fluxo constante de hélio (99,999%) com taxa de 1,2 mL.min⁻¹. Foi utilizado um volume de injeção de 1 uL (10 mg mL⁻¹), com uma razão de *split* de 1:00.

A programação de temperatura do forno utilizada foi a partir de 150°C (isoterma durante 1 minuto), com um aumento de 7°C por minuto, à 200°C, permanecendo por 2 minutos. Em seguida, foi feita a 8°C por minuto até 240°C, finalizando com uma isoterma de 5 minutos a 240°C. Pesou-se 15 mg de óleo em balança analítica e diluiu-se em 1 mL de heptano, sendo, posteriormente, injetadas no GC-EM. A quantificação foi realizada no modo SIM, monitorando os íons 74,55,69.

Foram utilizadas cinco bibliotecas do equipamento: NIST05, NIST05s, WILEY8, NIST107 e NIST21, as quais permitiram a comparação dos dados dos espectros de massa com aqueles constantes em suas bibliotecas, utilizando um índice de similaridade de 80%.

7.2.5 Heterose

A estimativa de heterose de cada híbrido da população F₁ foi obtida pela seguinte expressão: $h = F_1 - (P_1 + P_2)/2$, em que F_1 é a média da geração filial e P_1 e P_2 são as médias dos genitores 1 e 2, respectivamente (FALCONER, 1987).

7.2.6 Análise estatística

Os dados foram submetidos a testes de normalidade dos resíduos de Shapiro-Wilk e homocedasticidade das variâncias que indicaram a não necessidade de transformação. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade e o agrupamento de médias realizado pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, com o auxílio do *software* estatístico SISVAR[®] (FERREIRA, 2008).

Para verificar a variabilidade genética entre as progênies, realizou-se análise de variância para cada caracter. Posteriormente, foram estimadas as correlações fenotípicas entre os caracteres. As estimativas de parâmetros genéticos foram realizadas com o uso do *software* estatístico GENES (CRUZ, 2014).

7.3 Resultados e Discussão

7.3.1 Biometria de sementes

Observou-se diferença significativa ($P < 0,05$) entre os híbridos para o teor de óleo e para as características biométricas comprimento, largura e espessura das sementes. Para a característica comprimento de sementes, observou-se a formação de quatro grupos com valores médios que variaram de 17,17 a 19,12 mm. As características largura e espessura de sementes apresentaram a formação de três grupos, cada uma, com valores que variaram de 10,90 a 11,80 mm e 8,13 a 8,80 mm, respectivamente. Para o teor de óleo, observou-se variação de 33,27 a 52,20% e para massa de 100 sementes, 50,25 a 55,97 g, com destaque para o híbrido 4x5, que foi superior aos demais híbridos para estes caracteres (Tabela 7.1).

TABELA 7.1 Caracterização biométrica e teor de óleo de sementes híbridas de *Jatropha curcas* L. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

Híbrido	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Massa de 100 sementes (g)	Teor de óleo (%)
1x5	19,12 a	11,80 a	8,80 a	55,97 a	46,30 a
1x8	18,47 b	11,32 b	8,52 a	53,31 a	43,87 a
1x13	17,98 c	11,17 b	8,13 b	52,44 a	46,07 a
3x5	18,30 b	11,25 b	8,45 a	54,21 a	42,80 a
3x8	18,33 b	11,27 b	8,57 a	54,75 a	42,40 a
3x13	17,51 d	10,97 c	8,59 a	50,28 a	52,20 a
4x5	17,78 c	11,20 b	8,44 a	52,05 a	46,47 a
4x8	17,87 c	11,23 b	8,42 a	55,58 a	33,27 b
4x13	17,17 d	10,90 c	8,23 b	50,25 a	43,03 a
4x15	18,01 c	11,18 b	8,39 a	52,85 a	43,00 a
CV (%)	1,44	0,98	1,99	5,64	7,48

Médias seguidas de mesma letra na coluna pertencem a um mesmo grupo de acordo com o critério de agrupamento de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

O híbrido 1x5 destacou-se em relação aos caracteres comprimento e largura de sementes, diferenciando-se dos demais híbridos. Estes valores foram superiores aos obtidos por Pessoa et al. (2012), Christro et al. (2012) e Pimenta et al. (2014) para as mesmas variáveis de sementes de *J. curcas* avaliadas.

Apesar da recomendação dos progenitores 1 e 10 para uso em cruzamentos dialélicos, devido a possibilidade de transmissão da característica rendimento do óleo (PESSOA et al., 2011), o maior teor de óleo foi obtido de sementes do híbrido 3x13 (52,20%). Estes valores são superiores aos relatados por Fernandes et al. (2015) e observados por Evangelhista et al. (2015) em cultivos no estado de Minas Gerais, sob irrigação e sequeiro.

O menor rendimento de óleo foi observado em sementes do híbrido 4x8 (33,27%), verificando-se uma amplitude de 18,93% quando comparado ao teor de óleo extraído das sementes do híbrido 3x13. Esta amplitude pode ser explicada pela variabilidade genética existente entre os genitores utilizados nos cruzamentos dialélicos, sendo estas informações importantes para cruzamentos entre indivíduos superiores.

O híbrido 4x13 apresentou os menores valores médios para as características biométricas avaliadas, porém, não foi observada diferença significativa entre os híbridos para a variável massa de 100 sementes. Os valores médios observados nesta característica foram inferiores aos obtidos por Santana et al. (2013) para estes híbridos de *J. curcas*.

Ao estimar a diversidade genética de 75 progênies de *J. curcas* oriundas do Brasil e de três regiões do Camboja, com marcadores morfológicos, verificou-se um teor médio de óleo nas sementes de 31%, variando de 16 a 45%. Não foi encontrada correlação genética entre caracteres morfoagronômicos e teor de óleo, evidenciando ampla variabilidade para este caracter (FREITAS et al., 2011).

Devido ao fato desta espécie ainda ter não ter sido totalmente domesticada, as características biométricas de produção e de rendimento de óleo em sementes, além de outros componentes químicos variam consideravelmente entre diferentes procedências de *J. curcas*. Esta variação é muito importante para os programas de melhoramento vegetal direcionados à exploração econômica da cultura (DRUMOND et al., 2010).

Observou-se que os dados de herdabilidade no sentido amplo foram altos para a maioria dos caracteres avaliados, com valores acima de 80% (Tabela 7.2). Os maiores valores foram observados para comprimento (92,50) e largura (93,24), superiores aos valores obtidos por Christro et al. (2014) para os mesmos caracteres (87,73 e 81,37), em sementes de genótipos oriundos do banco de germoplasma da Embrapa Agroenergia, localizada em Brasília, Brasil. Os valores de herdabilidade para teor de óleo e massa de 100 sementes foram inferiores aos relatados por Rao et al. (2008), que obtiveram valores médios de 99,61 para o teor de óleo e 93,16% para a massa de 100 sementes; e por Kaushik et al. (2015), com valores de 95,49% para teor de óleo e 87,75% para massa de 100 sementes.

TABELA 7.2 Estimativas de variância genética (σ_g^2), ambiental (σ_e^2) e fenotípica (σ_f^2) e herdabilidade no sentido amplo (h^2) em caracteres de sementes híbridas de *Jatropha curcas* L. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

Parâmetro	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	M100 (g)	TO (%)
Média	18,06	11,23	8,45	53,17	20,70
σ_g^2	0,27	0,05	0,03	1,91	19,33
σ_e^2	0,02	0,01	0,01	2,09	3,33
σ_f^2	0,29	0,06	0,04	4,01	22,67
h^2	92,50	93,24	80,20	47,75	85,29
CV _g %	2,88	2,12	1,98	2,60	29,95
CV _e %	5,07	5,12	1,99	1,24	33,87
CV _g %/ CV _e %	1,76	0,75	1,01	0,48	7,20
CV (%)	1,64	1,11	1,97	5,44	7,19
QM _g ¹	1,17**	0,23**	0,14**	16,02 ^{ns}	60,00*

¹ = Quadrado médio do tratamento; ** e * = Significativo a 1 e 5% de probabilidade; ^{ns} = Não significativo. Legenda: M100 = Massa de 100 sementes; TO = Teor de óleo (%).

O teor de óleo apresentou o maior coeficiente de variação genética e a massa de 100 sementes, o de variação ambiental, corroborando com dados obtidos por Diédhiou et al. (2016) em genótipos cultivados no Senegal, oriundos do Senegal, Moçambique e Tanzânia. Porém, estes autores relataram valores inferiores de coeficiente de variação genotípica para teor de óleo (19,84) e superiores para M100 (14,96).

O ganho de seleção em programas de melhoramento é determinado pela magnitude e natureza da variação genotípica e fenotípica entre diferentes caracteres. Neste sentido, a herdabilidade indica a confiabilidade do fenótipo como base para a seleção de genótipos superiores. Comparativamente, estes resultados são similares aos obtidos por Galapia et al. (2012), que verificaram alta estimativa de herdabilidade para comprimento, largura e espessura de sementes de *J. curcas* cultivado na região de Laguna (Filipinas).

Alta herdabilidade e coeficientes de variação genotípica sugerem que existe alta variação genética entre os híbridos, que pode ser observado nos caracteres biométricos e no rendimento do óleo. Tal variação pode está associada às diferentes procedências dos parentais usados nos cruzamentos, que são de diferentes regiões do Brasil (PESSOA et al., 2011; RIBEIRO et al., 2017), sendo importante estimar a heterose dos híbridos comparando-os com os genitores.

7.3.2 Perfil de ácidos graxos

Para todos os híbridos, os ácidos oleico e linoleico foram os predominantes, com valores que variaram de 35,7 (4x13) a 41,8 (3x5) e de 30,6 (4x5) a 37,8 (1x13), respectivamente. Juntos representaram 73,2% da composição do óleo. Os valores observados foram semelhantes aos obtidos em sementes de genótipos de *J. curcas*, oriundos da Índia e do Brasil (SILVA et al., 2014; BARROS et al., 2015), para a presença dos ácidos oleico e linoleico, sendo superiores aos obtidos por Nizkou et al. (2009) (cultivados na República do Congo) e Senou et al. (2016) (cultivados na China) para o ácido palmítico, com teores de aproximadamente 4% acima dos obtidos.

Os principais ácidos graxos no óleo em sementes de *J. curcas* foram os ácidos palmítico (16:0), esteárico (18:0), oleico (18:1) e linoleico (18:2) (Figura 7.1 em anexo). Os ácidos graxos insaturados (ácidos oleico e linoleico) foram encontrados em maior proporção (Tabela 7.3).

Não foi detectada a presença dos ácidos láurico, miristático, palmitoleico, elaídico, linolênico, araquidônico e berrênico.

TABELA 7.3 Perfil de ácidos graxos do óleo de sementes híbridas de *Jatropha curcas* L. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

Híbrido	Palmítico	Esteárico	Oleico	Linoleico
1x5	17,50	8,10	38,90	35,50
1x8	21,90	8,20	37,70	32,30
1x13	16,30	7,30	38,70	37,80
3x5	16,50	8,00	41,80	33,30
3x8	20,50	7,90	38,30	33,30
3x13	15,10	7,00	40,50	37,40
4x5	22,30	8,30	38,80	30,60
4x8	20,20	8,80	38,80	32,20
4x13	21,80	6,70	35,70	35,80
4x15	17,80	7,90	38,80	35,40

Os teores médios de ácido esteárico e de ácido oleico obtidos no presente trabalho foram superiores aos verificados por Rodríguez et al. (2011), em estudo conduzido na cidade de San José de las Lajas, Cuba. Porém, inferiores aos obtidos por Mohammed-Dabo et al. (2012) e Zavala-Hernández (2015), que reportaram valores médios entre 9,76 e 13% destes ácidos, com sementes de acessos cultivados na Nigéria e no México.

No óleo de sementes de *J. curcas* de acessos cultivados em diferentes partes do Zimbábue e da Índia observou-se diferenças entre os valores de ácidos graxos (PARTHIBAN et al., 2011). Devido a esta característica, o óleo de sementes de *J. curcas* pode ser classificado como óleo oleico-linoleico (AKBAR et al., 2009).

Apesar de vários óleos vegetais serem matéria-prima potencial para a produção de éster metílico de ácidos graxos ou biodiesel, a qualidade do combustível é afetada pela composição do óleo. Idealmente, o óleo vegetal deve possuir baixa saturação e apresentar quantidades elevadas de ácidos graxos monoinsaturados. Os óleos vegetais ricos em ácidos polinsaturados, tais como os ácidos linoleico e linolênico, tendem a gerar combustíveis de éster metílico com fraca estabilidade à oxidação (WAGHMARE e NAIK, 2015).

O óleo de semente rico em ácido oleico representa uma alternativa promissora aos combustíveis fósseis devido à exigência antagônica entre propriedades de fluxo frio de um lado e estabilidade oxidativa e emissão de NOx noutro (MAZUMDAR et al., 2013), importante para manter a qualidade do biodiesel durante o armazenamento do produto.

Dessa forma, a caracterização de ácidos graxos totais é essencial para a confirmação da qualidade do óleo. A prospecção do óleo de *J. curcas* na produção de biodiesel não pode ser subestimada, pois o conhecimento científico detalhado sobre as propriedades químicas do óleo de semente é de imenso significado para a seleção de matéria-prima para a produção de biodiesel.

Deve-se ressaltar ainda, que as condições climáticas, a qualidade do solo (características físicas e químicas) e variabilidade genética e o estágio de desenvolvimento das sementes influenciam na qualidade do óleo de sementes de *J. curcas* (TURYNIAIO et al., 2015).

O estágio fisiológico da semente pode interferir no metabolismo de triacilgliceróis, ácidos graxos e esteróis, resultando em variações no conteúdo de lipídios. No presente trabalho verificou-se baixa correlação entre o teor de óleo e os ácidos graxos presentes nas sementes coletadas de frutos secos (maduros). Resultados semelhantes foram relatados por Booranasrisak et al. (2013), que não observaram correlação entre estes caracteres. Estes autores observaram ainda que há variação significativa dos ácidos graxos presentes no óleo, de acordo com o estágio de maturação das sementes, com exceção do ácido oleico que permaneceu constante.

Ao correlacionar os dados morfométricos com o perfil de ácidos graxos das sementes híbridas, verificou-se correlação significativa positiva entre os caracteres comprimento e largura, comprimento e espessura, largura e espessura, massa de 100 sementes e ácido esteárico (Tabela 7.4).

TABELA 7.4 Estimativas de correlação entre os caracteres comprimento (COMP), largura (LARG), espessura (ESP), massa de 100 sementes (M100), teor de óleo (TO), ácido palmítico (PAL), ácido esteárico (EST), ácido oleico (OLE) e ácido linoleico (LIN) de sementes híbridas de *Jatropha curcas* L. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

	COMP	LARG	ESP	M100	TO	PAL	EST	OLE	LIN
COMP	1	0,94**	0,65*	0,20 ^{ns}	-0,67*	-0,14 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,27 ^{ns}	-0,17 ^{ns}
LARG		1	0,67*	0,27 ^{ns}	-0,47 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,16 ^{ns}	-0,20 ^{ns}
ESP			1	0,12 ^{ns}	-0,28 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,31 ^{ns}	-0,20 ^{ns}
M100				1	0,16 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,68**	-0,28 ^{ns}	-0,74 ^{ns}
TO					1	0,18 ^{ns}	0,07 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	-0,14 ^{ns}
PAL						1	0,29 ^{ns}	-0,69*	-0,71*
EST							1	0,24 ^{ns}	-0,77**
OLE								1	0,00 ^{ns}
LIN									1

^{ns}Não houve diferença significativa; * e ** Significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t.

Correlações significativas negativas foram observadas entre as variáveis ácido palmítico e ácido oleico e ácido esteárico e ácido linoleico (Tabela 7.4). Estes resultados divergem dos reportados por One et al. (2014), que verificaram uma correlação altamente negativa entre os ácidos graxos oleico e linoleico, em sementes de *J. curcas* da Tailândia, sob sistema irrigado.

Em estudo sobre a relação entre as características biométricas das sementes com o teor de óleo do acesso da Índia, Kotoky et al. (2015) observaram correlações positivas entre largura e comprimento e entre a massa de 100 sementes e o teor de óleo, convergindo dos resultados obtidos no presente trabalho.

O estudo da correlação entre caracteres morfológicos, caracterização e rendimento do óleo de sementes é essencial para estimativa da variabilidade genética e auxílio na identificação dos melhores genótipos. Para a obtenção de genótipos superiores em programas de melhoramento, a seleção baseada apenas em caracteres morfométricos pode se mostrar inadequada, pois está restrito apenas aos poucos caracteres selecionados, sendo necessário avaliar também o conjunto de caracteres relacionados à produção e ao rendimento econômico.

7.3.3 Estimativa de heterose e heterobeltiose

A Capacidade de Específica de Combinação (sij) é interpretada como o desvio de um híbrido do que seria esperado na Capacidade Geral de Combinação de seu genitor. O cruzamento dialélico é o método mais comum para estimar o desempenho de genótipos em programas de melhoramento e pré-melhoramento, como o rendimento e os componentes de produção. Além disso, o principal objetivo dos cruzamentos dialélicos é a determinação de parâmetros genéticos como heterose, herdabilidade, variação genética, correlação fenotípica e genotípica entre os caracteres morfoagronômicos, visando a seleção de genótipos superiores (AL FALAHY, 2015).

Com a análise dialélica é possível conhecer o desempenho dos pais, o das suas combinações híbridas e a natureza do efeito recíproco. Em estudo sobre o desempenho de genótipos de *J. curcas* em cruzamentos dialélicos, observou-se que as estimativas de capacidade de combinação geral e específica, além do efeito recíproco, foram significativas pelo teste F para a produção e grãos e massa de 1000 sementes. Assim é possível verificar a existência de efeitos genéticos aditivos, não aditivos e/ou efeitos citoplasmáticos do genitor feminino envolvidos no controle dos caracteres. Quando maiores estimativas de efeitos dominantes são observadas em relação aos demais, os pais são divergentes para a maioria dos locos em domínio, e as manifestações heteróticas nestes cruzamentos podem resultar na complementação genética entre os locos que controlam tais caracteres. Desta forma, métodos que priorizem a

capitalização da heterose devem ser usados no melhoramento da população para esses caracteres (dominância genética e divergência) (TEODORO et al., 2017).

Ao avaliar os caracteres biométricos e o teor de óleo de acessos de *J. curcas*, dentre eles os genitores dos híbridos estudados neste trabalho, oriundos de bancos de germoplasma dos estados de Minas Gerais, Goiás, Bahia, Espírito Santo, Sergipe e Bahia (PESSOA, 2011), obteve-se valores médios biométricos de sementes semelhantes aos encontrados neste trabalho (Tabela 7.5), porém, com rendimento médio de óleo superior aos híbridos avaliados.

TABELA 7.5 Caracterização biométrica e teor de óleo de sementes de acessos de *Jatropha curcas* L. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

Acesso (Genitor)	CS (mm)	LS (mm)	ES (mm)	TO (%)
1	18,75	12,00	9,00	34,00
3	18,00	12,00	9,00	25,50
4	18,00	11,50	9,00	27,00
5	18,00	11,00	9,00	23,00
8	18,00	11,50	9,00	25,50
13	18,25	12,00	8,75	32,00
15	18,00	12,00	9,00	18,50

Legenda: CS = Comprimento de semente; LS = Largura de semente; ES = Espessura de semente; TO = Teor de óleo. Fonte: Pessoa (2011).

A estimativa dos valores médios de heterose em relação à média dos genitores sobre os caracteres biométricos e de rendimento do óleo apresentou variação de -0,95 a 0,75 para o comprimento de sementes; de -1,03 a 0,30 para largura da semente; de -0,74 a -0,20 para a espessura da semente e de 7,03 a 23,42 para o teor de óleo nas sementes. Quanto aos caracteres biométricos e de rendimento do óleo, destacaram-se os híbridos 1x5 (comprimento e largura da semente) e 3x13 (com valor médio de 23,42), respectivamente (Tabela 7.6).

TABELA 7.6 Estimativas dos efeitos de heterose média parental para os valores médios dos caracteres comprimento de sementes (CS), largura da semente (LS), espessura da semente (ES), massa de 100 sementes (M100) e teor de óleo (TO) em de sementes híbridas de *Jatropha curcas* L. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

Híbrido	CS (mm)	LS (mm)	ES (mm)	TO (%)
1x5	0,75	0,30	-0,20	21,80
1x8	0,09	-0,43	-0,48	14,12
1x13	-0,52	-0,83	-0,74	13,06
3x5	0,30	-0,25	-0,55	18,56
3x8	0,33	-0,48	-0,43	16,92
3x13	-0,61	-1,03	-0,29	23,42
4x5	-0,20	-0,05	-0,56	21,45
4x8	-0,13	-0,27	-0,58	7,03
4x13	-0,95	-0,85	-0,65	13,55
4x15	0,01	-0,57	-0,61	13,50

O menor rendimento de óleo foi observado no híbrido 4x8 (33,27%), 18,93% menor do que o teor de óleo extraído das sementes do híbrido 3x13. Esta amplitude pode ser explicada

pela variabilidade genética existente entre os genitores utilizados nos cruzamentos dialélicos (RIBEIRO et al., 2017), para os quais se encontrou valores de 58,4% de similaridade.

É importante notar que nem todas as combinações híbridas possuem forte heterose ou vigor híbrido, que pode-se ter, por outro lado poucos locos heteróticos, ou baixa diversidade genética. Além disso, os locos heteróticos negativos podem ocorrer simultaneamente na geração F₁ e devem ser removidos nas gerações subsequentes sem comprometer o grau de heterose positiva. Portanto, a divergência e a estabilidade dos genomas parentais e dos híbridos F₁ influenciam no rendimento e na herança estável de características agrônômicas (FU et al., 2014).

Portanto, a heterose é um parâmetro genético que permite destacar a importância ou não dos efeitos genéticos não aditivos, como dominância e epistasia, geralmente associados à condição heterozigótica. No entanto, um híbrido será vantajoso se for superior a ambos os genitores, sendo importante estimar também a heterobeltiose (superioridade do híbrido sobre o genitor superior) (GODOY et al., 2008). Desta forma, estimou-se também a heterobeltiose, sendo observado, em todos os híbridos avaliados, valor positivo de heterobeltiose para o teor de óleo, com destaque para os híbridos 3x13 (20,17) e 4x5 (20,45) (Tabela 7.7).

TABELA 7.7 Estimativas de heterobeltiose dos genótipos da geração F₁ sobre a média parental para os valores médios dos caracteres comprimento de sementes (CS), largura da semente (LS), espessura da semente (ES), massa de 100 sementes (M100) e teor de óleo (TO) em híbridos de *Jatropha curcas* L. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

Híbrido	CS (mm)	LS (mm)	ES (mm)	TO (%)
1x5	0,37	-0,20	-0,20	12,30
1x8	-0,28	-0,68	-0,48	9,87
1x13	-0,77	-0,83	-0,87	12,06
3x5	0,30	-0,75	-0,55	17,31
3x8	0,33	-0,73	-0,43	16,92
3x13	-0,74	-1,03	-0,41	20,17
4x5	-0,20	-0,30	-0,56	20,45
4x8	-0,13	-0,27	-0,58	6,28
4x13	-1,08	-1,10	-0,77	11,05
4x15	0,01	-0,82	-0,61	16,00

Estudos demonstram que o tamanho do genoma de *J. curcas* é relativamente pequeno e que o perfil de genes envolvidos na biossíntese de lipídios e ácidos graxos durante o desenvolvimento de sementes de *J. curcas* ainda precisa ser melhor elucidado (CARVALHO et al., 2008).

Entretanto, a expressão da maioria dos genes envolvidos na biossíntese de lipídios e de ácidos graxos e na caracterização de padrões de expressão desses genes são pré-requisitos essenciais para o entendimento de fatores genéticos relacionados à regulação do armazenamento da biossíntese lipídica em sementes de *J. curcas* (GU et al., 2012).

7.4 Conclusões

O híbrido 3x13 destaca-se pelo rendimento de óleo nas sementes e pelos teores de ácido oleico e linoleico.

As informações geradas neste trabalho são ferramentas importantes para a seleção de genótipos superiores e poderão ser úteis como descritores visando o registro de cultivares de *J. curcas*.

7.5 Referências Bibliográficas

- AKBAR, E.; YAAKOB, Z.; KAMARUDIN, S. K.; ISMAIL, M.; SALIMON, J. Characteristic and composition of *Jatropha curcas* oil seed from Malaysia and its potential as biodiesel feedstock. **European Journal of Scientific Research**, v. 29, n. 3, p. 396-403, 2009.
- ALBASHA, R.D.M.; ELNOUR, M.E.M.; ABADI, R.S.M.; SIDDIG, M.A.E. Comparative studies on physicochemical properties and fatty acids composition of seed oil of *Jatropha curcas* and *Jatropha glauca*. **International Journal of Technical Research and Applications**, v. 3, n. 4, p. 407-412, 2015.
- AL FALAHY, M.A.H. Estimation combining ability, heterosis and some genetic parameters across four environments using full diallel cross method. **International Journal of Pure and Applied Sciences and Technology**, v. 26, n. 1, p. 34-44, 2015.
- ANTOLÍN, E.M.; DELANGE, D.M.; CANAVACIOLO, V.G. Evaluation of five methods for derivatization and GC determination of a mixture of very long chain fatty acids (C24:0-C36:0). **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, v. 46, n. 1, p. 194-199, 2008.
- BARROS, T. F. S.; ARRIEL, N. H. C.; QUEIROZ, M. F.; FERNADES, P. D.; MENDONÇA, S.; RIBEIRO, J. A. A.; MEDEIROS, E. P. Fatty acids profile of species of *Jatropha curcas* L., *Jatropha molissima* (Pohl) Baill. and *Jatropha gossypifolia* L. **Industrial Crops and Products**, n. 73, p. 106-108, 2015.
- BASIL, M.; FONTINI, F. Biofuel from *Jatropha curcas*: Environmental sustainability and option value. **Ecological Economics**, v. 78, p. 1, 2012.
- BOORANASRISAK, T.; PHAONAKROP, N.; JARESITTHIKUNCHAI, C. V.; VIRUNANON, C.; ROYTRAKUL, S.; CHULALAKSASANANUKUL, W. Proteomic evaluation of free fatty acid biosynthesis in *Jatropha curcas* L. (physic nut) kernel development. **African Journal of Biotechnology**, p. 1-11, 2013.
- CARVALHO, C.R.; CLARINDO, W.R.; PRACA, M.M.; ARAUJO, F.S.; CARELS, N. Genome size, base composition and karyotype of *Jatropha curcas* L., an important biofuel plant. **Plant Science**, v. 174, p. 613-617, 2008.
- CHRISTRO, L. F.; AMARAL, J. F. T.; LAVIOLA, B. G.; MARTINS, L. D.; AMARAL, C. F. Biometric analysis of seeds of genotypes of physic nut (*Jatropha curcas* L.). **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 8, n. 1, p. 1-3, 2012.
- CHRISTO, L. F.; COLODETTI, T. V.; RODRIGUES, W. N.; MARTINS, L. D.; BRINATE, S. B.; do AMARAL, J. F. T.; LAVIOLA, B. G.; TOMAZ, M. A. Genetic variability among genotypes of physic nut regarding seed biometry. **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, p. 1416-1422, 2014.
- CRUZ, C. D. Programa GENES. Versão 4.1. UFV, Viçosa. 2014.
- DIÉDHIOU, I.; SAMBOU, Y. S.; SAGNA, M. D.; DIÉDHIOU, P. M. Genetic parameters for fruits, seeds and oil content traits of *Jatropha curcas* L. in a semi-arid region of Senegal. **American Journal of Experimental Agriculture**, v. 11, n. 5, p. 1-11, 2016.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, 3 ed. Brasília: Embrapa. 2013. 353 p.

EVANGELHISTA, A. W. P.; ALVES JÚNIOR, J.; SOUZA, J. L. M.; BEZERRA, R. S.; DOMINGOS, M. V. H. Acúmulo de matéria seca e óleo em sementes de pinhão-manso irrigado e em sequeiro. **Journal of Brazilian Association of Agricultural Engineering**, v. 35, n. 5, p. 829-837, 2015.

FAIRLESS, D. The little shrub that could-maybe. **Nature**, v. 449, p. 652-655, 2007.

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

FERNANDES, K. H. P.; MORAES, C. B.; CARIGNATO, A.; SATURINO, H. M.; MORI, N. T.; GOUVÊA, C. F.; ZIMBACK, L.; MORAES, M. L. T.; MORI, E. S. Variabilidade genética em progênies de polinização aberta de *Jatropha curcas*. **Science Forestry**, v. 43, n. 105, p. 167-173, 2015.

FERREIRA, D.F. (2008) SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, v. 6, p. 36-41.

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

FU, D.; X, M.; HAYWARD, A.; FU, Y.; LIU, G.; JIANG, G.; ZHANG, H. Utilization of crop heterosis: a review. **Euphytica**, v. 197, p. 161-173, 2014.

GALAPIA, G. A.; CARANDANG, W. M.; VALLESTEROS, S. F.; VALLESTEROS, A. P. Heritability of and relationship among selected seed traits of three provenances of *Jatropha curcas* L. **Forest Science and Technology**, v. 8, n. 3, p. 139-144, 2012.

GODOY, A.R.; HIGUTI, A.R.O.; CARDOSO, A.I.I. Produção e heterose em cruzamentos entre linhagens de pepino do grupo caipira. **Bragantia**, v.67, n.4, p.839-844, 2008.

GU, K.; YI, C.; TIAN, D.; SANGHA, J. S.; HONG, Y.; YIN, Z. Expression of fatty acid and lipid biosynthetic genes in developing endosperm of *Jatropha curcas*. **Biotechnology for Biofuels**, v. 5, n. 47, p. 1-15, 2012.

HAYAT, H.; MENDHULKAR, V.D. A simplified approach to transesterification for GC-MS analysis in *Jatropha curcas*. **Der Pharmacia Lettre**, v. 8, n. 10, p. 233-237, 2016.

HELLER, J. Physic Nut (*Jatropha curcas* L.). Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. **International Board for Plant Genetic Resources**, Roma. p. 161. 1996.

ISO 5508. Animal and vegetable fats and oils - Analysis by gas chromatography of methyl esters of fatty acids. 1999.

ISO 5509. Animal and vegetable fats and oils - Preparation of methyl esters of fatty acids. 2000.

JAIN, S.; SHARMA, M. P. Kinetics of acid base catalyzed transesterification of *Jatropha curcas* oil. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 7701-7706, 2010.

KAUSHIK, N.; DESWAL, R. P. S.; MALIK, S.; KUMAR, K. Genetic variation and heritability estimation in *Jatropha curcas* L. progenies for seed yield and vegetative traits. **Journal of Applied and Natural Science**, v. 7, n. 2, p. 567-573, 2015.

KOTOKY, R.; RABHA, A.; GOGOI, A.; NATH, S. C.; SAIKIA, S. P. Correlation studies in seed traits, moisture and oil content and effect of hormones on flowering of *Jatropha curcas* L. **Brazilian Journal of Biological Sciences**, v. 2, n. 3, p. 79-84, 2015.

LEE, J.D.; BILYEU, K.D.; SHANNON, J.G. Genetics and breeding for modified fatty acid profile in soybean seed oil. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v. 10, p. 201-210, 2007.

MAZUMDAR, P.; DASSARI, S. R.; BORUGADDA, V. B.; SRIVASATAVA, G.; SAHOO, L.; GOUD, V. V. Biodiesel production from high free fatty acids content *Jatropha curcas* L. oil using dual step process. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 3, p. 361-369, 2013.

MOHAMMED-DABO, I. A.; AHMAD, M. S.; HAMZA, A.; MUAZU, K.; ALIYU, A. Cosolvent transesterification of *Jatropha curcas* seed oil. **Journal of Petroleum Technology and Alternative Fuels**, v. 3, n. 4, p. 42-51, 2012.

MONIRUZZAMAN, M.; YAAKOB, Z.; KHATUN, R. Biotechnology for *Jatropha* improvement: a worthy exploration. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 54, p. 1262-1277, 2016.

NZIKOU, J. M.; MATOS, L.; Mbemba, C. B.; Ndamgui, C. B.; PAMBOU-TOBI, N. P. G.; KIMBOGUILA, A.; SILOU, Th.; LINDER, M.; DESOBRY, S. Characteristics and composition of *Jatropha curcas* oils, variety Congo-Brazzaville. **Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology**, v. 1, n. 3, p. 154-159, 2009.

ONE, K. T.; MUAKRONG, N.; TANYA, P.; VALETTE, J.; GIRARD, P.; SRINIVES, P. Physicochemical properties of seeds and oil from an F₂ populations of *Jatropha curcas* x *Jatropha integerrima*. **Science Asia**, n. 40, p. 428-435, 2014.

PARAWIRA, W. Biodiesel production from *Jatropha curcas*: a review. **Scientific Research and Essays**, v. 5, n. 14, p. 1796-1808, 2010.

PARTHIBAN, K. T.; SELVAN, P.; PARAMATHMAN, M.; KANNA, S. U.; KUMAR, P.; SUBBULAKSHMI, V.; VENNILA, S. Physico-chemical characterization of seed oil from *Jatropha curcas* L. genetic resources. **Journal of Ecology and the Natural Environment**, v. 3, n. 5, p. 163-167, 2011.

PETROVIC, M.; KEZIC, N.; BOLANCA, V. Optimization of the GC method for routine analysis of the fatty acid profile in several food samples. **Food Chemistry**, v. 122, p. 285-291, 2010.

- PESSOA, A. M. S. **Fenologia e caracterização morfológica floral, molecular e agrônômica de acessos de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.)**. 2011.70 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão-SE, 2011.
- PESSOA, A. M. S.; SILVA-MANN, R.; SANTOS, A. G.; RIBEIRO, M. L. F. Influência da maturação de frutos na germinação, vigor e teor de óleo de sementes de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). **Scientia Plena**, v. 8, n. 7, p. 1-11, 2012.
- PIMENTA, A. C.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; LAVIOLA, B. G. Morfologia de frutos, sementes e plântulas de *Jatropha curcas* L. **Floresta**, v. 44, n. 1, p. 73-80, 2014.
- RAO, G.R.; KORWAR, G.R.; SHANKER, A.K.; RAMAKRISHMA, Y.S. Genetic associations, variability and diversity in seed characters, growth, reproductive phenology and yield in *Jatropha curcas* (L.) accessions. **Trees**, v. 22, n. 5, p. 697-709, 2008.
- RIBEIRO, D. O.; SILVA-MANN, R.; ALVARES-CARVALHO, S. V.; SOUZA, E. M. S.; VASCONCELOS, M. C.; BLANK, A. F. Genetic variability in *Jatropha curcas* L. from diallel crossing. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 2, p. 1-13, 2017.
- RODRÍGUEZ, R. P.; PEREZ, L. G.; ALFONSO, M.; DUARTE, M.; CARO, R.; GALLE, J.; SIERENS, R.; VERHELST, S. Characterization of *Jatropha curcas* oils and their derived fatty acid ethyl esters obtained from two different plantations in Cuba. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, p. 4092-4098, 2011.
- SANTANA, U. A.; CARVALHO, J. L. S.; BLANK, A. F.; SILVA-MANN, R. Capacidade combinatória e parâmetros genéticos de genótipos de pinhão-manso quanto a caracteres morfoagronômicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 11, p. 1449-1456, 2013.
- SENOU, H.; ZHENG, C. X.; SAMAKE, G.; TRAORE, M. B.; FOLEGA, F.; TRAORE, B. M. Quantification of seed oil content and fatty acid profile of *Jatropha curcas* L. from Guizhou. China. **International Journal of Biology**, v. 8, n. 2, p. 92-97, 2016.
- SILVA, C.; COLONELLI, T. A. S.; SILVA, E. A.; CABRAL, V. F.; OLIVEIRA, J. V.; CARDOZO-FILHO, L. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 33, n. 3, p. 727-735, 2014.
- TEODORO, P.E.; RODRIGUES, E.V.; PEIXOTO, L.A.; LAVIOLA, B.G.; BHERING, L.L. Diallel analysis in agronomic traits of *Jatropha*. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, p. 259-265, 2017.
- TOSA, K.; ISHIZUKA, T. Fatty acids methyl esters yield and phorbol esters degradation during transesterification of *Jatropha curcas* oil by alkaline, acid and enzyme catalyzed method. **Renewable Energy and Environmental Sustainability**, v. 2, n. 1, p. 1-5, 2017.
- TURYNAIO, Y. K.; KALANZI, F.; MUDOMA, J. M.; KIWUSO, P.; ASIIMWE, G. M.; ESEGU, J. F. O.; BALITTA, P.; MWANJA, C. Physicochemical characterization of *Jatropha curcas* Linn oil for biodiesel production in Nebbi and Mokono districts Uganda. **Journal of Sustainable Bioenergy Systems**, v. 5, p. 104-113, 2015.
- WAGHMARE, T.; NAIK, G. R. Chemical analysis of seed and oil of *Jatropha curcas* L. a biofuel plant cultivated in Hyderabad Karnataka region, North Karnataka. **International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology**, v. 6, n. 1, p. 186-192, 2015.

YANG, C.Y.; DENG, X.; FANG, Z.; PENG, D.P. Selection of high-oil-yield seed sources of *Jatropha curcas* L. for biodiesel production. **Biofuels**, v. 1, n. 5, p. 705-717, 2010.

ZAVALA-HERNÁNDEZ, J. T.; CÓRDOVA-TÉLLEZ, L.; MARTÍNEZ-HERRERA, J.; MOLINA-MORENO, J. C. Physiological quality and chemical profile of developing *Jatropha curcas* seeds. **Seed Science and Technology**, n. 3, p. 433-444, 2015.

8. ARTIGO 5 QUALIDADE E VIGOR DE SEMENTES HÍBRIDAS DE *Jatropha curcas* L.

RESUMO

Jatropha curcas L. apresenta potencial para produção de energia renovável. A falta de conhecimentos técnico-científicos ainda é fator limitante para o cultivo da espécie. Objetivou-se avaliar a qualidade fisiológica de sementes de 10 híbridos coletadas em duas épocas de cultivo, por meio da germinação, tetrazólio e condutividade elétrica. O experimento foi conduzido sob delineamento inteiramente casualizado, com 4 repetições de 25 sementes. Estimou-se a percentagem de sementes germinadas e índice de velocidade de germinação. As sementes remanescentes do teste de germinação foram avaliadas pelo teste de tetrazólio (0,5%, à 25 °C) na ausência de luz, por 120 minutos. Os embriões foram classificados de acordo com a intensidade da coloração, em viáveis e não viáveis. O teste de condutividade elétrica foi realizado com 4 repetições de 25 sementes, acondicionadas em copos plásticos descartáveis contendo 75 mL de água destilada e levadas para B.O.D. (25 °C). As leituras foram feitas nos períodos de 0, 3, 6, 9, 12 e 24, 48, 72 e 96 horas de embebição. Observou-se diferença significativa entre os híbridos para a percentagem de germinação nos dois anos, destacando-se os híbridos 1x5 (56%), 1x8 (55%), 1x13 (56%), 3x8 (61%), 4x5 (56%) e 4x8 (61%). Quanto ao IVG, os maiores valores foram observados nos híbridos 1x5 (3,34), 1x13 (3,70), 3x8 (3,34), 3x13 (3,05) e 4x8 (3,69). Entre as sementes que não germinaram, as sementes não estavam viáveis para os híbridos 1x5, 3x5, 3x8 e 3x13. Os híbridos 3x5, 3x8, 4x5 e 4x8 são os melhores na reorganização do sistema de membranas celulares e apresentam os maiores potenciais fisiológicos relacionados à qualidade das sementes.

Palavras-chave: Pinhão-manso, teste de germinação, índice de velocidade de germinação, condutividade elétrica, teste de tetrazólio.

ABSTRACT**Título: Quality and vigor of the hybrid seeds of *Jatropha curcas* L.**

Jatropha curcas L. presents a great potential for the production of renewable energy. However, a lack of technical-scientific knowledge is still a limiting factor for the cultivation of this species. The objective of this study was to evaluate the physiological quality of the seeds of 10 hybrids that were collected during two growing seasons, by using germination, tetrazolium and electrical conductivity tests. The experiments were conducted in a completely randomized design, with 4 replicates of 25 seeds. From the germination data, the percentages of the germinated seeds and the germination speed indices were estimated. The remaining seeds from the germination test were evaluated by the tetrazolium test with a 0.5% concentration at 25°C in the absence of light for 120 minutes. The embryos were classified according to the intensity of their staining, in a viable and non-viable manner. The electrical conductivity tests were performed with 4 replicates of 25 seeds, while being conditioned in disposable plastic cups, containing 75 mL of distilled water and kept in B.O.D. (25°C). The readings were taken in the periods of 0, 3, 6, 9, 12, 24, 48, 72 and 96 hours of imbibition. There were significant differences among the hybrids in the percentages of germination during the two years that were evaluated, with the 1x5 (56%), 1x8 (55%), 1x13 (56%), 3x8 (61%), 4x5 (56%) and 4x8 (61%) hybrids showing such values, respectively. As for the IVG, the highest values were observed in the 1x5 (3.34), 1x13 (3.70), 3x8 (3.34), 3x13 (3.05) and 4x8 (3.69) hybrids. The tetrazolium tests verified that among the seeds that did not germinate, the 1x5, 3x5, 3x8 and 3x13 hybrid seeds were not viable. The 3x5, 3x8, 4x5 and 4x8 hybrids were the best in their reorganization of their cell membrane systems and they presented the highest physiological potentials when related to their seed quality.

Keywords: *Jatropha*, germination test, germination speed index, electrical conductivity, tetrazolium test.

8.1 Introdução

Jatropha curcas L. apresenta grande potencial para se tornar uma das principais culturas energéticas do mundo, devido à quantidade e à qualidade do óleo produzido em suas sementes. Estima-se que mais de três milhões de hectares de *J. curcas* foram implantados, sendo a Índia, China e o Brasil os maiores produtores (FAIRLESS, 2007).

As condições de manejo são determinantes para garantia da qualidade fisiológica das sementes oleagionas. O uso de sementes de alta qualidade é a base para a produção agrícola e está relacionado à capacidade da semente para desempenhar suas funções vitais, sendo os efeitos traduzidos na porcentagem de germinação, qualidade de mudas e aumento no vigor (FRANDOLOSO et al., 2015).

Além disso, a qualidade fisiológica das sementes pode ser afetada por adversidades durante o desenvolvimento inicial da plântula, por processos fisiológicos que ocorrem antes e depois da colheita e fatores genéticos (BRACINI et al., 2001).

Acessos de *J. curcas* oriundos de diferentes locais da Índia apresentaram diferença significativa para o teor de óleo e o peso de sementes e de amêndoas, que variaram de 33,02 a 39,12 % em sementes inteiras e de 47,08% a 58,12 % em amêndoas. Estas diferenças resultaram em plantas com performances diferentes em campo, e correlação positiva entre maior teor de óleo e rendimento agrônômico (GINWAL et al., 2004).

Apesar de poder ser propagada por estaquia ou enxertia (HELLER, 1996), a propagação por sementes de *J. curcas* é considerada eficiente, devido ao melhor estabelecimento de cultivos de longa duração (DUONG et al., 2013). A planta matriz exerce influência significativa sobre as características das sementes, como tamanho, dormência e germinação. Muitos fatores como a idade da planta matriz, a posição da semente no fruto e a inflorescência podem afetar as

propriedades das sementes. Além dos principais efeitos genéticos e das características de desenvolvimento da planta matriz, o meio ambiente também exerce grande influência na produção e qualidade das sementes (PENFIELD e MACGREGOR, 2016).

A qualidade de sementes está diretamente relacionada às características genéticas e pode ser monitorada nos primeiros estádios de desenvolvimento por testes de germinação e vigor durante o processo de melhoramento.

Além disso, a composição química também merece destaque, sendo as oleaginosas as mais sensíveis à manutenção da qualidade. As sementes oleaginosas são mais propensas à deterioração durante o armazenamento, quando comparadas com outros tipos de sementes, devido a mudanças fisiológicas, bioquímicas e físicas que causam declínio progressivo e irreversível na qualidade. Assim, a intensidade e velocidade do processo de deterioração da semente podem estar relacionadas à sua composição química, conteúdo de água e qualidade inicial, especialmente ao seu teor de óleo, verificando-se, em geral, que a germinação de sementes de *J. curcas* é mantida durante 12 meses de armazenamento em condições de câmara fria (10 °C; a 55% de umidade relativa), independentemente da embalagem (DIAS et al., 2016).

Fatores como umidade, substrato e temperatura estão diretamente relacionados com a qualidade inicial e com o vigor de sementes de *J. curcas*. Porém, as informações sobre as condições ideais para o teste de germinação com sementes dessa espécie ainda não são conclusivas, devido à grande variação reportada na literatura (WINDAUER et al., 2012; MARIAPPAN et al., 2014). Os resultados referentes à qualidade inicial e vigor sugerem que temperaturas entre 25°C e 30°C e substratos de areia ou papel são condições adequadas para o teste de germinação da espécie (OLIVEIRA et al., 2014).

Desta forma, para obter informações mais precisas sobre a qualidade de sementes de *J. curcas*, faz-se necessário a complementação dos dados gerados durante o teste de germinação com outros testes, possibilitando a seleção de melhores lotes para comercialização e estabelecimento de sementeira e, entre esses testes, a condutividade elétrica (ARAUJO et al., 2011) e o teste de tetrazólio (BRENHA et al., 2012).

Considerando-se a falta de conhecimento sobre o cultivo de *J. curcas* e a importância do pré-melhoramento desta espécie para obtenção de genótipos superiores, com a produção de sementes de qualidade, este trabalho teve por objetivo avaliar a qualidade inicial e o vigor de sementes híbridas de *J. curcas*.

8.2 Material e Métodos

8.2.1 Coleta do material vegetal

Foram utilizadas semente de frutos colhidos de dez híbridos (1x5, 1x8, 1x13, 3x5, 3x8, 3x13, 4x5, 4x8, 4x13 e 4x15) de *J. curcas* cultivadas na área experimental do Campus Rural da Universidade Federal de Sergipe, situada no município de São Cristóvão-SE. As plantas foram cultivadas sob as mesmas condições e manejo, sendo os frutos colhidos manualmente nos dois anos agrícolas avaliados (2016 e 2017). Após o beneficiamento dos frutos, as sementes foram levadas para secar em estufa de circulação forçada de ar à 40°C até aproximadamente 9% de umidade, de acordo com metodologia proposta por Zonta et al. (2011). Em seguida, foram armazenadas em câmara fria à 10°C, com umidade relativa no seu interior em torno de 60%, por sete dias, até a execução do teste. As análises morfológicas foram conduzidas no Laboratório de Tecnologia de Sementes da Universidade Federal de Sergipe, em São Cristóvão-SE.

8.2.2 Grau de umidade

O grau de umidade foi determinado pelo método de estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ por 24 horas (BRASIL, 2009), com quatro repetições de 50 sementes. As amostras foram pesadas em balança de precisão para obtenção da massa úmida e, em seguida, colocadas para secar em estufa. Após

a secagem, realizou-se nova pesagem para obtenção da massa seca e os resultados foram expressos em porcentagem da massa úmida.

8.2.3 Teste de germinação

Os testes de germinação foram conduzidos em dois anos agrícolas (2016 e 2017). Para cada teste, utilizou-se sementes de dez híbridos de *J. curcas*, sob o delineamento inteiramente casualizado, com 4 repetições de 25 sementes. As sementes foram dispostas em rolos de papel tipo *germitest*, umedecidos com 2,5 vezes seu peso com água destilada e mantidas a 25°C em incubadora do tipo D.B.O. (Demanda Bioquímica de Oxigênio), sob fotoperíodo de 12 horas.

Avaliou-se o número de plântulas normais até o vigésimo primeiro dia após a implantação do teste. As sementes foram consideradas germinadas a partir da protrusão da radícula e parte aérea e os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais de acordo com as Regras de Análise de Sementes (RAS) (BRASIL, 2009).

O índice de velocidade de germinação (IVG) foi estimado a partir da germinação de plântulas normais, analisadas diariamente, de acordo com a equação matemática proposta por Maguire (1962).

As sementes que não germinaram no teste de germinação foram avaliadas quanto à viabilidade pelo teste de tetrazólio, visando verificar se as mesmas estavam dormentes, duras ou mortas. Os tegumentos das sementes foram removidos cuidadosamente com auxílio de bisturi e em seguida foram transferidas para copos plásticos contendo solução de 2,3,5 trifenil cloreto de tetrazólio na concentração de 0,5%, e mantidas a 40°C, na ausência de luz, durante 120 minutos (PINTO et al., 2009). Posteriormente, as sementes foram lavadas em água corrente e deixadas submersas em água e cortadas no sentido longitudinal e mediano, e no comprimento através do endosperma e embrião, para a análise de viabilidade dos embriões

Para a avaliação, considerou-se a extensão, tonalidade, presença de áreas bancas leitosas, aspecto dos tecidos e localização das colorações em relação às áreas essenciais ao desenvolvimento das sementes. Com isso, os embriões foram classificados de acordo com a intensidade da coloração, em viáveis e não viáveis.

8.2.4 Condutividade elétrica em massa

O teste de condutividade elétrica foi realizado com quatro repetições de 25 sementes, pesadas e acondicionadas em copos plásticos descartáveis, com capacidade para 200 mL, contendo 75 mL de água destilada. Em seguida, o material foi levado para B.O.D., regulada a 25°C, e a leitura foi realizada no momento e após 3, 6, 9, 12 e 24, 48, 72 e 96 horas de embebição em condutivímetro CG 1800 (Gehaka[®]) e os resultados expressos em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$. A leitura foi realizada logo após a retirada do material da incubadora, de modo gradativo, agitando-se cuidadosamente cada recipiente, com o intuito de uniformizar os eletrólitos lixiviados na solução (VIEIRA e KRZYZANOWSKI, 1999; ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS, 2002).

8.2.5 Qualidade do RNA em sementes de *J. curcas*

O RNA foi extraído de embriões de sementes de cada um dos híbridos usando o kit comercial Macherei-Nagel. A quantificação do RNA foi feita no *NanoDrop Spectrophotometer*, para a obtenção dos valores de absorbâncias A260/A280.

8.2.6 Análise estatística

Inicialmente os dados foram submetidos a análise da distribuição de frequência dos dados, para verificar distribuição normal. Para testar a hipótese de normalidade, utilizou-se o teste W (SHAPIRO & WILK, 1965). Em seguida foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade e as médias agrupadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, com o auxílio do *software* estatístico SISVAR[®] (FERREIRA, 2008).

Adicionalmente procedeu-se ao ajuste de regressão polinomial dos valores de condutividade elétrica nos diferentes períodos de embebição. A equação escolhida correspondeu àquela de maior grau com significância estatística ($P \leq 0,05$) de seus coeficientes. Esta análise foi processada no *software* estatístico Genes (CRUZ, 2006).

8.3 Resultados e Discussão

8.3.1 Teste de germinação e índice de velocidade de germinação

Os fatores que interferem na qualidade das sementes são o grau de umidade e as condições de armazenamento, o tipo de substrato, a temperatura, o pré-tratamento e a cultivar utilizada (GAIROLA et al., 2011; MONCALEANO-ESCANDON et al., 2013; MARCELLO et al., 2015). Para a avaliação da germinação de sementes de *J. curcas* em laboratório recomenda-se dispor as sementes em rolo de papel ou substrato de areia e mantê-las em germinador com temperatura entre 25-30°C (MARTINS et al., 2008; NEVES, 2009).

O valor médio do grau de umidade das sementes híbridas de *J. curcas* do presente estudo foi de 9,6%. Observou-se diferenças significativas para a qualidade de sementes dos 10 híbridos para %G e IVG, nos dois anos agrícolas avaliados (2016 e 2017). Para a percentagem de germinação, durante o ano de 2016, destacaram-se os híbridos 1x5 (46%), 1x8 (46%), 1x13 (52%), 3x5 (46%), 3x8 (48%), 3x13 (45%), 4x5 (42%) e 4x8 (60%). As menores percentagens de germinação foram observadas nos híbridos 4x13 (33%) e 4x15 (26%). Porém, nos testes realizados no ano de 2017, a maior percentagem de germinação foi observada no híbrido 4x15 (78%), não diferindo dos híbridos 1x5 (61%), 1x13 (60%), 3x8 (75%) e 4x5 (70%). De acordo com a análise conjunta dos dois anos agrícolas (2016/2017), observou-se diferença significativa entre os híbridos para a percentagem de germinação, com destaque para os híbridos 1x5 (56%), 1x8 (55%), 1x13 (56%), 3x8 (61%), 4x5 (56%) e 4x8 (61%).

Quanto ao IVG das sementes coletadas no ano de 2016, os maiores valores obtidos foram observados nos híbridos 1x5 (3,34), 1x13 (3,70), 3x8 (3,34), 3x13 (3,05) e 4x8 (3,69). Nos testes realizados no ano de 2017, observou-se os maiores valores de IVG nos híbridos 1x5 (3,48), 1x8 (3,69), 1x13 (3,34), 3x8 (3,83), 4x5 (3,91), 4x8 (3,50) e 4x15 (4,03). Quanto aos valores médios de IVG dos anos de 2016 e 2017, verificou-se que os maiores valores foram obtidos nos híbridos 1x5 (3,34), 1x13 (3,70), 3x8 (3,34), 3x13 (3,05) e 4x8 (3,69) (Tabela 8.1).

TABELA 8.1 Germinação (%) e índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes híbridas de *Jatropha curcas* L. colhidas durante os anos de 2016 e 2017. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

Híbrido	Germinação (%)			IVG		
	2016	2017	2016/2017	2016	2017	2016/2017
1x5	46 Ab	67 Aa	57 a	3,34 Aa	3,48 Aa	3,34 a
1x8	46 Ab	64 Ba	55 a	2,62 Bb	3,69 Aa	2,62 b
1x13	52 Aa	60 Aa	56 a	3,70 Aa	3,34 Aa	3,70 a
3x5	46 Aa	49 Ba	47 b	2,57 Ba	2,52 Ba	2,57 b
3x8	48 Ab	75 Aa	61 a	3,34 Aa	3,83 Aa	3,34 a
3x13	45 Aa	57 Ba	51 b	3,05 Aa	2,63 Ba	3,05 a
4x5	42 Ab	70 Aa	56 a	2,53 Bb	3,91 Aa	2,53 b
4x8	60 Aa	63 Ba	61 a	3,69 Aa	3,50 Aa	3,69 a
4x13	33 Bb	61 Ba	47 b	1,53 Bc	2,82 Ba	1,50 b
4x15	26 Bb	78 Aa	52 b	1,50 Bc	4,03 Aa	1,53 b
CV (%)	23,01	13,81	17,08	24,48	14,73	19,20

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas (entre os anos) não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo agrupamento de médias Scokk-Knott.

Quando considerados os valores médios entre os anos de 2016 e 2017, destacaram-se os híbridos 1x5 (57%), 1x8 (55%), 1x13 (57%), 3x8 (62%), 4x5 (56,0%) e 4x8 (62%). Para o IVG, os maiores valores médios foram verificados nos híbridos 1x5 (3,34), 1x13 (3,70), 3x8 (3,34), 3x13 (3,05) e 4x8 (3,69).

Ao avaliar o comportamento de quinze híbridos de *J. curcas*, oriundos de cruzamentos dialélicos, Islam et al. (2015) verificaram variação na germinação de sementes entre 53 e 98% e índice de velocidade de germinação entre 2,31 e 8,63. Resultados semelhantes para vigor de sementes (61 a 87% de germinação) oriundas de frutos maduros de *J. curcas* foram observados em diferentes ambientes e recipientes durante 12 meses de armazenamento (DIAS et al., 2016).

Deve-se ressaltar a influência do estágio de maturação dos frutos de *J. curcas* sobre a germinação, o teor de óleo e o peso da semente (NEGASU, 2015). Além da variabilidade genética, a germinação de sementes de *J. curcas* é diretamente influenciada pelo estágio de maturação dos frutos, com uma amplitude de 0% a mais de 70% de germinação, quando usadas sementes oriundas de frutos verdes imaturos e de frutos marrons e secos (completamente maduros), respectivamente (DRANSKY et al., 2010).

8.3.2 Teste de tetrazólio

Verificou-se pelo teste de tetrazólio que entre as sementes que não germinaram, as sementes não estavam viáveis para os híbridos 1x5, 3x5, 3x8 e 3x13, devido principalmente ao ataque de fitopatógenos.

Sementes morfológicamente perfeitas podem originar plântulas normais ou anormais e podem estar dormentes ou mortas, havendo relação entre o nível de formação ou morfologia interna e o seu potencial fisiológico (PUPIM et al., 2008). Porém, o dano causado ao cotilédone pode não afetar a germinação de sementes, processo relacionado à má formação das sementes (VASCONCELOS, 2013).

Estudos com sementes de acessos de *J. curcas* de diferentes regiões da Índia evidenciam, pelo teste de tetrazólio, a correlação da viabilidade das sementes em teste de germinação, existindo relação direta entre a viabilidade e a germinação das sementes. Quando a viabilidade avaliada pelo teste de tetrazólio ficou acima de 60%, a germinação das sementes foi superior a 60%. Observou-se baixos valores médios de germinação quando a viabilidade foi inferior a 60%. A viabilidade observada em todos os acessos foi de 40 a 90% (KUMAR et al., 2013).

8.3.3 Teste de condutividade elétrica

O teste de condutividade elétrica na avaliação do vigor das sementes híbridas de *J. curcas* possibilitou caracterizar de forma eficiente os tratamentos testados, pois os maiores valores de condutividade elétrica foram observados em sementes dos híbridos 3x13, 4x13 e 4x15, no ano de 2016 e do híbrido 3x13 no ano de 2017. Estes híbridos apresentaram menores percentagens de germinação nos dois anos avaliados (Tabela 8.1).

Provavelmente, as sementes dos híbridos 3x5, 3x8, 4x5 e 4x8 foram mais eficientes na reorganização do sistema de membranas celulares, pois lixiviaram menores quantidades de exsudados para o meio, apresentando assim o maior potencial fisiológico, quando comparados com os demais híbridos. O híbrido 4x8 apresentou os menores valores de condutividade elétrica nos dois anos avaliados, destacando-se dos demais quanto à percentagem de germinação e IVG. Este híbrido destaca-se também pela produção de sementes, reportada no Capítulo 1.

Baixos valores de condutividade elétrica estão relacionados à menor liberação de exsudatos, indicando alto potencial fisiológico, devido à menor intensidade de desorganização do sistema de membranas das células (VIEIRA et al., 2002). Após a embebição, sementes vigorosas têm a capacidade de restabelecer as suas membranas de maneira mais rápida, resultando em menor liberação de eletrólitos. Com isso, pode-se inferir que o nível de lixiviação está correlacionado com a qualidade da semente, uma vez que, elevados valores de condutividade elétrica estão relacionados às sementes de baixa qualidade (sementes mortas ou de baixo vigor) (GUZMAN et al., 2011).

A condutividade elétrica, avaliada sob os fatores híbridos, ano agrícola e períodos de imersão, apresentou interação significativa entre híbridos e períodos de imersão, ou seja, as sementes híbridas de *J. curcas* colhidas nos dois anos avaliados possuem valores de

condutividade elétrica variáveis de acordo com os diferentes períodos de imersão em água (Tabela 8.2).

TABELA 8.2 Dados médios do teste de condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) de sementes híbridas de *Jatropha curcas* L. colhidas durante os anos de 2016 e 2017. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

Híbrido	0	3	6	12	24	48	72	96
Horas								
.....2016.....								
1x5	31,51 fB	60,92 eB	82,96 dB	91,48 dB	99,85 dD	119,44 cC	197,89 bF	311,17 aE
1x8	32,46 eB	64,92 dB	66,99 dB	82,14 dB	122,33 cD	136,06 cC	211,99 bF	429,76 aC
1x13	49,17 eB	68,25 eB	85,44 dB	95,73 dB	167,84 cB	169,89 cB	236,50 bE	407,36 aD
3x5	38,16 eB	49,87 eB	69,06 dB	77,58 dB	122,30 cD	124,16 cC	226,86 bE	292,86 aE
3x8	41,54 fB	54,75 fB	63,78 fB	95,74 eB	143,45 dC	180,43 cB	257,99 bD	357,52 aE
3x13	59,06 fA	111,26 eA	137,18 dA	157,13 dA	169,64 cB	189,38 cB	461,99 bA	855,15 aA
4x5	60,17 dA	63,04 dB	65,62 dB	70,35 dB	169,69 cB	181,92 cB	320,49 bC	385,93 aD
4x8	43,01 eB	61,63 eB	68,51 eB	88,25 dB	113,68 cD	117,69 cC	182,84 bF	229,54 aF
4x13	39,07 eB	99,36 dA	102,03 dA	109,16 dB	225,34 cA	241,27 cA	433,80 bB	490,91 aB
4x15	67,24 eA	71,17 eB	80,67 eB	85,36 eB	209,72 dA	256,29 cA	474,64 bA	511,77 aB
CV (%)	9,58							
.....2017.....								
1x5	32,12 gA	78,98 fB	103,93 fC	132,24 eB	178,83 dB	243,52 cD	378,55 bC	500,69 aC
1x8	32,36 gA	91,64 fA	130,59 eB	173,13 eA	200,93 dB	393,89 cB	551,28 bB	747,23 aB
1x13	37,35 gA	74,93 fB	111,17 eB	130,51 eB	183,86 dB	278,81 cC	362,48 bC	461,72 aD
3x5	36,68 eA	53,71 eB	81,05 dC	81,54 dC	108,99 cC	137,21 cE	203,55 bE	262,47 aG
3x8	41,61 eA	54,19 eB	62,11 eD	84,38 dC	108,08 dC	158,49 cE	201,34 bE	282,02 aG
3x13	57,38 hA	117,31 gA	160,07 fA	206,69 eA	264,12 dA	432,33 cA	592,01 bA	910,34 aA
4x5	59,37 eA	66,62 eB	67,58 eD	68,59 eC	101,47 dC	155,55 cE	224,84 bE	275,80 aG
4x8	41,59 eA	62,18 eB	90,01 dC	104,98 dB	135,15 cC	176,64 bE	226,59 aE	258,33 aG
4x13	38,36 fA	103,85 eA	129,26 eB	138,17 eB	186,66 dB	285,36 cC	329,41 bD	370,24 aF
4x15	63,07 fA	65,66 fB	96,37 eC	114,06 eB	165,27 dB	244,08 cD	344,16 bD	415,73 aE
CV (%)	12,67							

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas linhas e maiúscula na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo agrupamento de médias Scokk-Knott.

Observou-se que os valores de condutividade elétrica dos híbridos avaliados, em diferentes períodos de imersão, não podem ser ajustados em uma mesma equação polinomial, uma vez que eles apresentaram diferentes ajustes de equação. No entanto, essa informação é pertinente, pois permite se estabelecer a necessidade de avaliação de diferentes combinações híbridas quando se pretende atender ao caráter de qualidade de sementes (Tabela 8.3; Figuras 8.1 e 8.2).

TABELA 8.3 Equações de regressão polinomial para os dados de condutividade elétrica de sementes híbridas de *Jatropha curcas* L. submetidas a oito períodos de imersão. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

Ano	Híbrido	Equação	R ²
2016	1x5	$y = 62,1137 + 0,52014x + 0,0207x^2$	0,96
	1x8	$y = 65,0192 - 0,29545x + 0,0402x^2$	0,93
	1x13	$y = 72,9894 + 1,1998x + 0,0215x^2$	0,93
	3x5	$y = 50,5741 + 1,74591x + 0,008x^2$	0,94
	3x8	$y = 51,0742 + 2,79036x + 0,0033x^2$	0,94
	3x13	$y = 124,9615 - 2,64963x + 0,1049x^2$	0,97
	4x5	$y = 52,8811 + 3,20563x + 0,0032x^2$	0,97
	4x8	$y = 57,5546 + 1,56515x + 0,002x^2$	0,96
	4x13	$y = 64,3966 + 5,09449x - 0,006x^2$	0,96
	4x15	$y = 51,7908 + 5,5397x + 0,0056x^2$	0,96
2017	1x5	$y = 64,9245 + 3,95154x + 0,56x^2$	0,96
	1x8	$y = 67,9304 + 6,31793x + 0,0073x^2$	0,96
	1x13	$y = 61,4434 + 5,11338x + 0,0107x^2$	0,98
	3x5	$y = 52,9565 + 1,88408x + 0,0028x^2$	0,98
	3x8	$y = 49,6419 + 2,11388x + 0,0024x^2$	0,99
	3x13	$y = 105,3538 + 5,27649x + 0,0297x^2$	0,99
	4x5	$y = 45,4775 + 2,232x + 0,0021x^2$	0,97
	4x8	$y = 57,119 + 3,32415x - 0,0132x^2$	0,91
	4x13	$y = 72,0224 + 5,68281x - 0,0274x^2$	0,92
	4x15	$y = 62,7718 + 4,23302 - 0,0057x^2$	0,96

Todas as sementes analisadas no presente trabalho foram oriundas de frutos maduros. Observou-se divergências nos valores de condutividade elétrica entre os híbridos em cada período de imersão avaliado (Figuras 8.1 e 8.2).

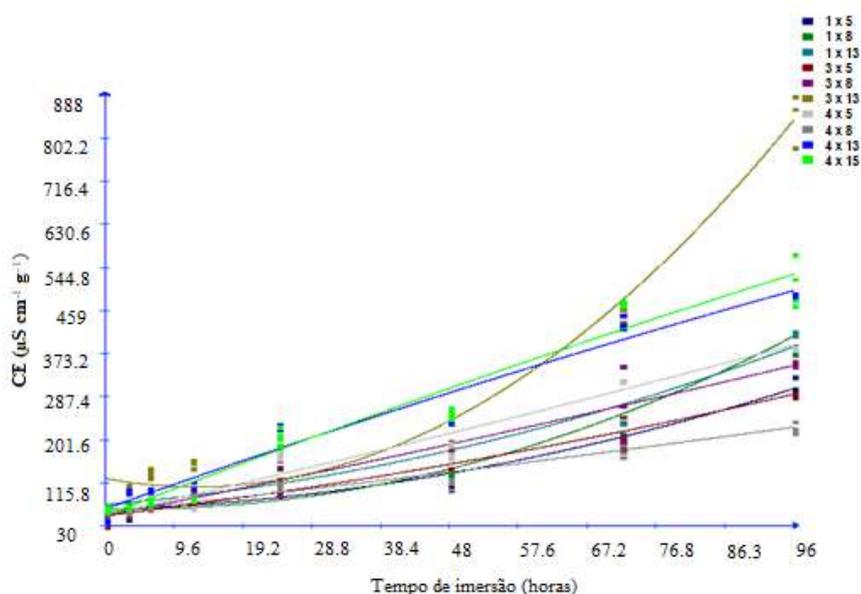


FIGURA 8.1 Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$) para as sementes híbridas de *Jatropha curcas* L. (colhidas no ano de 2016) em função dos períodos de imersão das sementes em água. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

Com o aumento do período de embebição, houve melhor distinção entre os híbridos. Esta avaliação é importante, principalmente considerando que se deve estabelecer avaliações relativas, para se comparar diferentes lotes de sementes.

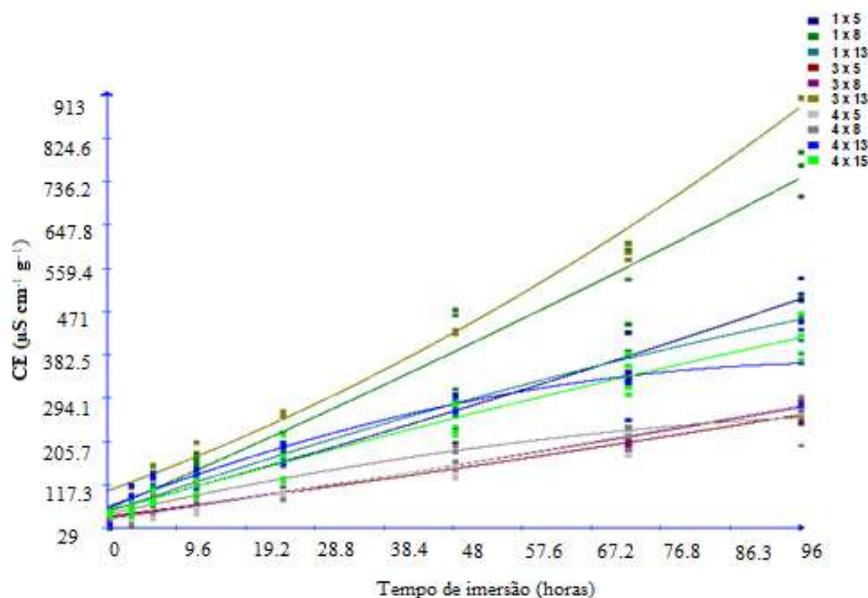


FIGURA 8.2. Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$) para as sementes híbridas de *Jatropha curcas* L. (colhidas no ano de 2017) em função dos períodos de imersão das sementes em água. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

Esta divergência entre os valores de condutividade elétrica observados, relacionada ao potencial fisiológico das sementes, pode ser explicada pela variabilidade genética existente entre os híbridos estudados (RIBEIRO et al., 2017).

Ao avaliar o período de maior distinção entre os valores médios de condutividade elétrica das sementes híbridas de *J. curcas*, verificou-se que para o ano de 2016 a maior amplitude entre os valores de variância ocorreu entre os períodos de 12 (21,13) e 96 (540,63) horas, com os maiores valores de variância às 96 horas de imersão. Porém, a maior amplitude entre os valores de variância das sementes colhidas no ano de 2017 foi observada entre os períodos de 6 (11,51) e 72 (1165,75) horas, sendo 72 horas o período com maior variância entre os híbridos (Figura 8.3).

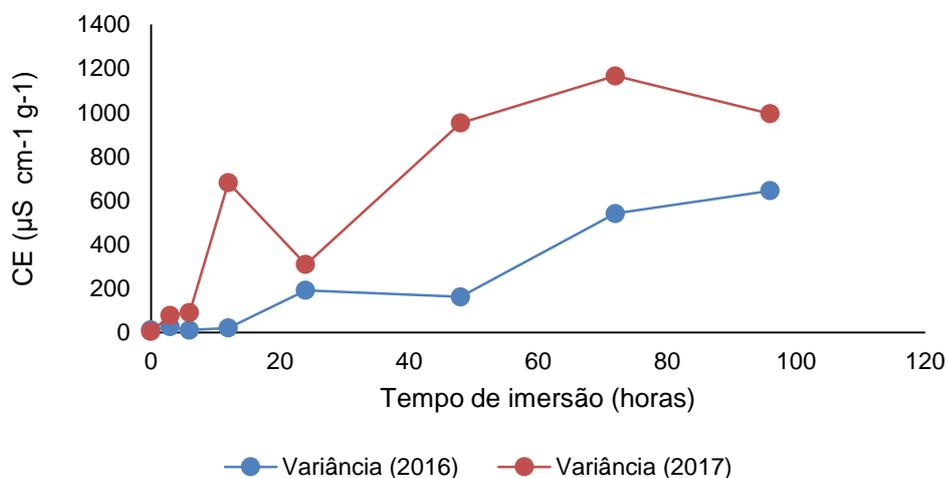


FIGURA 8.3 Variâncias entre os valores de condutividade elétrica de sementes híbridas de *Jatropha curcas* L. (colhidas nos anos de 2016 e 2017), sob diferentes períodos de imersão. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

Busca-se cada vez mais testes de avaliação de sementes que sejam rápidos e promovam informações precisas. Ao se tentar avaliar o melhor tempo para avaliação de um teste, é pertinente considerar que ele deve ser rápido, no entanto, deve mostrar variância suficiente para distinção dos lotes em questão.

Porém, nos dois anos avaliados, a melhor discriminação dos híbridos com base no distanciamento das curvas foi observada a partir de 12 horas de embebição (Figuras 8.3 e 8.4). Desta forma, observou-se incremento nos valores de condutividade elétrica com o aumento do tempo de embebição, permitindo a maior diferenciação entre os híbridos.

As maiores amplitudes entre as variâncias dos valores de condutividade elétrica dos híbridos em cada período de imersão de sementes foram observadas entre 24 e 72h, para os dois anos avaliados (Figuras 8.1 e 8.2). Estes resultados divergem dos obtidos por Araujo et al. (2011), que observaram, em teste de condutividade elétrica para sementes de *J. curcas* embebidas em 75 mL de água, maior diferenciação no período entre 6 e 12 horas de embebição.

8.3.4 Qualidade do RNA em sementes de *J. curcas*

Houve variação na quantidade e na qualidade de RNA presente nos embriões das sementes híbridas, com redução na concentração das sementes dos híbridos 4x5 e 4x8 (Figura 8.4).



FIGURA 8.4 Dados médios dos anos agrícolas 2016/2017 da relação entre a qualidade do RNA e germinação (%) de sementes híbridas de *Jatropha curcas* L. UFS, São Cristóvão-SE, 2018.

A obtenção de RNA de alta qualidade é um requisito crucial no desenvolvimento de recursos genômicos como a realização de testes de expressão gênica e a construção de bibliotecas de cDNA (DASH, 2013). Em estudo com sementes de ervilha envelhecidas artificialmente a 50°C e 12% de teor de água da semente, observou-se relação negativa entre a quantidade de RNA na semente e o tempo de envelhecimento artificial, com menor quantidade de RNA em maiores tempos de envelhecimento (KRANNER et al., 2011). O híbrido 4x8 apesar de apresentar um dos menores valores relacionados à qualidade do RNA, apresentou uma das maiores percentagens de germinação.

Esta diferença na integridade dos RNA pode estar relacionada à variabilidade genética entre os híbridos ou a danos ao RNA durante a extração. Além disso, altos teores de lipídios e polissacarídeos interferem no processo de extração e purificação de RNA em sementes oleaginosas, como *J. curcas*, afetando o seu rendimento e qualidade (SHARMA et al., 2003; SINGH et al., 2009).

Variações nas composições celulares com níveis variáveis de metabolitos secundários, compostos fenólicos e oxidativos, também podem interferir na qualidade do RNA, dificultando

a padronização de procedimentos de extração de RNA para diferentes tipos de tecidos vegetais (MORNKHAM et al., 2013).

Isso pode explicar a menor qualidade do RNA observada em sementes do híbrido 4x5, uma vez que, este híbrido possui o maior teor de óleo nas sementes (Capítulo 1), quando comparado com os demais híbridos.

A extração de RNA em sementes é a primeira etapa em estudos de expressão gênica, e alterações ou dificuldades na obtenção de RNA com qualidade e integridade podem afetar os resultados.

8.4 Conclusões

Os híbridos 1x5, 1x8, 1x13, 3x8, 4x5 e 4x8 possuem maior germinação.

Os valores de IVG são maiores nos híbridos 1x5, 1x13, 3x8, 3x13 e 4x8.

Os híbridos 3x5, 3x8, 4x5 e 4x8 provavelmente são mais eficientes na reorganização do sistema de membranas celulares e apresentam os maiores potenciais fisiológicos para a qualidade das sementes.

O teste de condutividade elétrica é eficiente para avaliação do potencial fisiológico de sementes híbridas de *J. curcas*, pela possibilidade de distinção entre os valores de eletrólitos lixiviados das sementes avaliadas.

Recomenda-se o tempo de 24 horas para a análise da condutividade elétrica em sementes híbridas de *J. curcas*.

8.5 Referências Bibliográficas

ARAÚJO, R.F.; ZONTA, J.B.; ARAÚJO, E.F.; DONZELES, S.M.L.; COSTA, G.M. Teste de condutividade elétrica para sementes de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). **IDESIA**, v. 29, n. 2, p. 79-86, 2011.

ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS. **Seed vigor testing handbook**. Lincoln, 2002. 105p. (Contribution, 32).

BRACCINI, A.L.; BRACCINI, M.C.L.; SCAPIM, C.A. Mecanismos de deterioração de sementes: Aspectos bioquímicos e fisiológicos. **Informativo Abrates**, v.11, n.1, p.10-15, 2001.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399p.

BRENHA, J.A.M.; OLIVEIRA, N.C.; CÂNDIDO, A.C.S.; GODOY, A.R.; ALVES, C.Z. Teste de tetrazólio em sementes de pinhão manso. **Visão Acadêmica**, v. 13, n. 4, p. 1518-5192, 2012.

CRUZ, C.D. Programa GENES. Versão 4.1. UFV, Viçosa. 2006.

DASH, P.K. High quality RNA isolation from ployphenol-, polysaccharideand protein-rich tissues of lentil (*Lens culinaris*). **3 Biotech**, v. 3, p. 109-114, 2013.

DIAS, D.C.F.S.; OLIVEIRA, G.L.; VALLORY, G.G.; LAÉRCIO, J.S.; SOARES, M.M. Physiological changes in *Jatropha curcas* L. seeds during storage. **Journal of Seed Science**, v. 38, n. 1, p. 041-049, 2016.

DRANSKY, J.A.L; PINTO JÚNIOR, A.S; STEINER, F.; ZOZ, T.; MALAVASI, U.C.; MALAVASI, M.M.; GUIMARÃES, V.F. Physiological maturity of seeds and colorimetry of fruits of *Jatropha curcas* L. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 4, p. 158-165, 2010.

DUONG, T.H.; SHEN, J.L.; LUANGVIRIYASAENG, V.; HA, H.T.; PINYOPUSARERK, K. Storage behaviour of *Jatropha curcas* seeds. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 25, n. 2, p. 193-199, 2013.

FAIRLESS, D. The little shrub that could-maybe. **Nature**, v. 449, p. 652-655, 2007.

FERREIRA, D.F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, v. 6, p. 36-41, 2008.

FRANDOLOSO, V.; MENEGHELLO, G.E.; ANDRÉ, M.A.; DEUNER, C.; MENEGAZ, W. Physiological quality of soybean seeds produced in four edaphoclimatic regions of Santa Catarina. **Journal of Seed Science**, v. 37, n. 3, p.226-233, 2015.

GAIROLA, K.C.; NAUTIYAL, A.R.; DWIVEDI, A.K. Effect of temperatures and germination media on seed germination of *Jatropha curcas* Linn. **Advances in Bioresearch**, v. 2, n. 2, p. 66-71, 2011.

- GINWAL, H.S.; RAWAT, P.S.; SRIVASTAVA, R.L. Seed source variation in growth performance and oil yield of *Jatropha curcas* Linn. Central India. **Silvae Genetica**, v. 53, p. 186-192, 2004.
- GUZMAN, L.E.P.; ZAMORA, O.B.; BORROMEO, T.H.; CRUZ, P.C.S.; MENDOZA, T.C. Seed viability and vigor testing of *Jatropha curcas* L. **Philippine Journal of Crop Science**, v. 36, n. 3, p. 10-18, 2011.
- HELLER, J. Physic Nut (*Jatropha curcas* L.). Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. **International Board for Plant Genetic Resources**, Roma, 161, 1996.
- ISLAM, A.K.M.A.; ANUAR, N.; YAAKOB, Z.; GHANI, J.A. Germination behaviour of 6 × 6 diallel hybrids of an energy crop *Jatropha curcas* L. **Sains Malaysiana**, v. 44, n. 9, p. 1275-1281, 2015.
- KRANNER, I; CHEN, H.; PRITCHARD, H.W.; PEARCE, S.R.; BIRTIC, S. Inter-nucleosomal DNA fragmentation and loss of RNA integrity during seed ageing. **Plant Growth Regulation**, v. 63, p. 63-72, 2011.
- KUMAR, H.; RADHAMANI, J.; SARBHOY, R.K. Viability assessment through tz test of seeds, collected from different agro climatic zones of India. **Indian Journal L. Science**, v. 3, n. 1, p. 133-135, 2013.
- MAGUIRE, J.D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n. 1, p. 176-177, 1962.
- MARCELLO, L.; NICLA, C.; LUCA, G.; MAURIZIO, M. Effects of pre-sowing treatments on *Jatropha curcas* seed germination and seedling growth. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 26, p. 2553-2561, 2015.
- MARIAPPANAN, N.; SRIMATH, P.; SUNDARAMOORTHY, L.; SUDHAKAR, K. Effect of growing media on seed germination and vigor in biofuel tree species. **Journal of Forestry Research**, v. 25, n. 4, p. 909-913, 2014.
- MARTINS, C.C; MACHADO, C.G.; CAVASINI, R. Temperatura e substrato para o teste de germinação de sementes de pinhão-mansão. **Ciência e agrotecnologia**, v. 32, n. 3, p. 863-868, 2008.
- MONCALEANO-ESCANDON, J.; SILVA, B.C.F.; SILVA, S.R.S.; GRANJA, J.A.A.; ALVES, M.C.J.L.; POMPELLI, M.F. Germination responses of *Jatropha curcas* L. seeds to storage and aging. **Industrial Crops and Products**, v. 44, p. 684-690, 2013.
- MORNKHAM, T.; WANGSOMNUK, P.P.; FU, Y.B.; WANGSOMNUK, P.; JOGLOY, S.; PATANOTHAI, A. Extractions of high quality RNA from the seeds of jerusalem artichoke and other plant species with high levels of starch and lipid. **Plants**, v. 2, p. 302-316, 2013.
- NEGASU, G.B. Effect of harvesting *Jatropha curcas* L. seeds at different fruit maturity levels on germination, oil content and seed weight. **Net Journal of Agricultural Science**, v. 3, n. 3, p. 74-80, 2015.

NEVES, G.J.M.; da SILVA, H.P.; BRANDÃO JUNIOR, D.S.; MARTINS, E.R.; NUNES, U.R. Padronização do teste de germinação para sementes de pinhão-manso. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 4, p. 76-80, 2009.

OLIVEIRA, G.L.; DIAS, D.C.F.S.; HILST, P.C.; da SILVA, L.J.; DIAS, L.A.S. Standart germination test in physic nut (*Jatropha curcas* L.) seeds. **Journal of Seed Science**, v. 36, n. 3, p. 336-343, 2014.

PENFIELD, S.; MACGREGOR, D.R. Effects of environmental variation during seed production on seed dormancy and germination. **Journal of Experimental Botany**, v. 68, n. 4, p. 819-825, 2016.

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**, vol. 31, n. 2, p. 195-2001, 2009.

PUPIM, T.L.; NOVENBRE, A.D.L.C.; CARVALHO, M.L.M.; CICERO, S.M. Adequação do teste de raios X para a avaliação para a qualidade de sementes de embaúba (*Cecropia pachystachya* Trec.). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 2, p. 28-32, 2008.

RIBEIRO, D. O.; SILVA-MANN, R.; ALVARES-CARVALHO, S. V.; SOUZA, E. M. S.; VASCONCELOS, M. C.; BLANK, A. F. Genetic variability in *Jatropha curcas* L. from diallel crossing. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 2, p. 1-13, 2017.

SHAPIRO, S.S.; WILK, M.B. An analysis of variance test for normality (complete samples), **Biometrika**, v. 52, p. 591-611, 1965.

SHARMA, A.D.; GILL, P.K.; SINGH, P. RNA isolation from plant tissues rich in polysaccharides. **Analytical Biochemistry**, v. 314, p. 319-321, 2003.

SINGH, R.K.; MISRA, A.; SANE, V.A.; NATH, P. Isolation of high quality RNA from oil seeds of *Jatropha curcas*. **Journal Plant Biochemistry and Biotechnology**, v. 18, n. 1, p. 01-05, 2009.

VASCONCELOS, M.C. *Moringa oleífera* Lam.: aspectos morfométricos, fisiológicos e cultivo em gradiente de espaçamento. 2013. 65f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão-SE, 2013.

VIEIRA, R.D.; KRZYZANOWSKI, F.C. Teste de condutividade elétrica. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Brasília: ABRATES, 1999. p. 4.1-4.26.

VIEIRA, R.D.; PENARIOL, A.L.; PERECIN, D.; PANOBIANCO, M. Condutividade elétrica e teor de água inicial das sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 9, p. 1333-1338, 2002.

WINDAUER, L.B.; MARTINEZ, J.; RAPOPORT, D.; WASSNER, D.; BENECH-ARNOLD, B. Germination responses to temperature and water potential in *Jatropha curcas* L. seeds: a hydrotime model explains the difference between dormancy expression and dormancy induction at different incubation temperatures. **Annals of Botany**, v. 109, p. 265-273, 2012.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando a falta de cultivares registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e visando gerar informações úteis para futuros programas de melhoramento genético de *J. curcas*, foram realizados estudos preliminares em diferentes áreas da ciência agrônoma, dentre elas a genética e biologia molecular (avaliação da diversidade genética entre híbridos de *J. curcas*); o melhoramento genético (caracterização morfoagronômica, produção e avaliação de parâmetros genéticos de frutos e sementes híbridas de *J. curcas*) e a tecnologia de sementes (avaliação da qualidade inicial de sementes híbridas).

Os *primers* ISSR utilizados neste estudo são eficientes em estudos de variabilidade genética entre híbridos oriundos de cruzamentos dialélicos. A similaridade genética média foi de 58,4% entre híbridos, sendo importante estudos posteriores para a constituição de coleções centrais visando a diversidade genética para a obtenção de genótipos superiores. Estas informações também poderão ser utilizadas na seleção de genitores visando melhores combinações de parentais divergentes. Os genótipos mais divergentes foram 1x5 e 1x8 e poderão ser empregados em futuros cruzamentos.

As informações sobre a caracterização morfoagronômica de frutos e sementes híbridas de *J. curcas* possibilitarão auxiliar no direcionamento da avaliação de descritores morfológicos em futuros cruzamentos dialélicos. Dentre os parâmetros morfológicos, foi possível observar os caracteres que mais contribuem para a estimativa da diversidade genética entre os híbridos de *J. curcas*, assim como os híbridos mais produtivos e com maior capacidade de transmissão de características agrônomicas desejáveis. Porém, a expressão de genes envolvidos na biossíntese de lipídios e ácidos graxos em sementes de *J. curcas* ainda precisam ser melhor elucidados.

As análises experimentais relacionadas à qualidade de sementes confirmam os procedimentos metodológicos adotados para avaliação da qualidade fisiológica em sementes de *J. curcas*. O teste de germinação e a avaliação da condutividade elétrica, possibilitaram distinguir os híbridos mais vigorosos e com maiores potenciais fisiológicos para a qualidade das sementes. Um aspecto importante a considerar, é que nos programas visando a seleção de genótipos, atualmente o uso de avaliação da qualidade das sementes pode auxiliar na avaliação da capacidade de combinação destes em cruzamentos e permitir a identificação de aspectos físicos e fisiológicos envolvidos no desenvolvimento e maturação das sementes. Porém, informações bioquímicas e estudos sobre expressão gênica e de proteínas poderão contribuir para o melhor entendimento do metabolismo durante a fase inicial de desenvolvimento das plantas, complementando as informações geradas no presente estudo. Estas informações serão úteis para avaliação mais precisa da qualidade inicial de sementes nesta espécie.

Desta forma, as informações geradas na tese são contribuições importantes para o conhecimento da espécie e a seleção de genótipos superiores para uso em futuros programas de melhoramento genético e também poderão ser úteis para a formulação de descritores para a espécie.

ANEXO

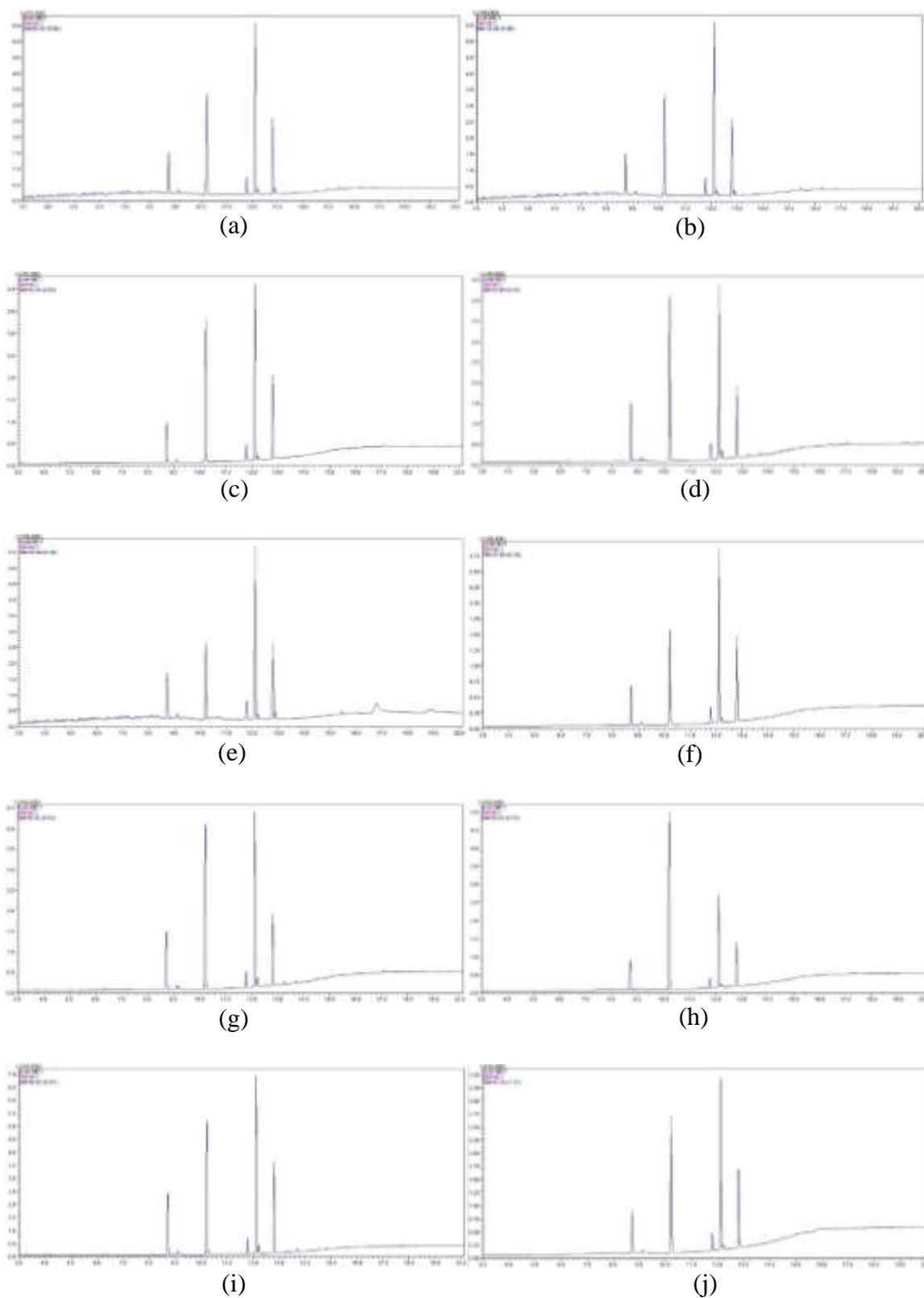


FIGURA 7.1 Cromatogramas do perfil de ésteres metílicos de ácidos graxos do óleo de sementes dos híbridos de *Jatropha curcas* L. 1x5 (a), 1x8 (b), 1x13 (c), 3x5 (d), 3x8 (e), 1x13 (f), 4x5 (g), 4x13 (h), 4x15 (i). UFS, São Cristóvão-SE, 2018.